

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Prosessi- ja materiaalitekniikan osasto

Puunjalostustekniikan laitos

Marko Koskela-Koivisto

POHJAKARTONGIN LAATUVAIHTELUIDEN VAIKUTUS
VALKOPINTAISEN KRAFTLAINERIN PÄÄLLYSTETTÄVYY-
TEEN JA PAINETTAVUUTEEN

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä
tarkastettavaksi diplomi-insinöörintutkintoa
varten Espoossa 1.9.1990.

Työn valvoja professori Hannu Paulapuro

Työn ohjaaja diplomi-insinööri Ilmo Isotalo

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Puunjalostustekniikan laitos
Kirjasto

Tekijä ja työn nimi : Marko Koskela-Koivisto

Pohjakartongin laatuvahteluiden vaikutus valkopintaisen kraftlainerin päällystettävyyteen ja painettavuuteen
Päivämäärä : 20.08.1990 Sivumäärä : 147

Osasto :

Prosessi- ja materiaalitekniikan osasto
Puunjalostustekniikan laitos

Professori :

Puu-21,
Paperitekniikka

Työn valvoja : professori Hannu Paulapuro

Työn ohjaaja : diplomi-insinööri Ilmo Isotalo

Diplomityön kirjallisuusosassa selvitettiin päällystykseen, soft-kalanterointiin ja fleksopainatukseen vaikuttavia tekijöitä. Teräpääällystyksessä tärkeimmät tekijät ovat pohjakartongin karheus ja absorptiokyky sekä pastan koostumus. Päällystykseen tavoin fleksopainatuksessa voimakkaimmin vaikuttavat tekijät ovat pinnan karheus ja absorptiokyky.

Kokeellisessa osassa tutkittiin miten pohjakartongin karheus ja absorptio-ominaisuudet vaikuttavat päällysteen ja painojäljen laatuun. Pohjakartongin karheus PPS 10 vaihteli välillä 7,25 - 8,4 μm ja absorptio-ominaisuuksista Cobb-Unger vaihteli välillä 15,5 - 25,7 g/m². Lisäksi selvitettiin pastan pigmentti-koostumuksen, päällystemäärän ja kalanterointivoimakkuuden vaikutusta päällysteen ja painojäljen ominaisuuksiin.

Pohjakartongin karheudella oli voimakkain vaikutus päällysteen laatuun. Mitä karheampi pohjakartonki oli sitä suurempi päällysteen karheus ja absorptiokyky sekä pienempi kiilto ja vaaleus. Nämä selittyvät päällysteen heikommasta peittokyvystä karhealla pinnalla, jossa on runsaasti päällysteen läpitunkeutuvia kuituja ja kuituflokkeja. Päällysteen huono peittävyys taas aiheutti painojäljen epätasaisuutta ja painovärittömiä kohtia, minkä vuoksi painotulos jäi heikommaksi. Päällysteen vaaleustasoon vaikutti pohjakartongin karheuden lisäksi sen vaaleus. Pohjakartongin absorptio-ominaisuuksilla ei ollut merkittävää vaikutusta päällysteeseen tai painojälkeen. Pohjakartongin osalta tuleekin päähuomio kiinnittää sileyden parantamiseen, koska tällöin lopputuotteen ominaisuudet paranevat ja toisaalta päällystyskustannuksia voidaan pienentää päällystemäärää vähentämällä.

Päällysteen kiillon ja vaaleuden osalta päällystemäärän nostolla voidaan kompensoida pohjakartongin heikkoa laatua, mutta karhealla pohjakartongilla ei saavuteta päällystemäärän nostolla samaa sileyttä kuin sileän pohjakartongin päällystyksessä. Lisäksi päällystemäärän noustessa päällystykseen hallittavuus ja kuivatus vaikeutuvat.

Päällystetyn pinnan soft-kalanteroinnin voimakkuutta nostamalla lisätään etupäässä pinnan sileyttä ja kiiltoa. Kiiltoon kalanteroinnilla oli muita muuttujia selvästi voimakkaampi vaikutus. Haittapuolena kalanteroinnin voimistamisella on vaaleuden ja kitkakulman heikkeneminen, joskin haitat jäävät vähäisemmiksi kuin saavutettavat edut.

Lisäksi tutkittiin pohjakartongin soft-kalanteroinnin ja päällysteen kalsiumkarbonaattiosuuden vaikutusta lopputuotteen laatuun. Pohjakartongin soft-kalanteroinnilla saavutettiin selvää etua lopputuotteen vaaleudessa ja myös kiilto oli korkea ja absorptiokyky alhainen. Painatuksessa saavutettiin korkein painojäljen kiilto ja pienin pisteenkasvu. Pohjakartongin soft-kalanteroinnilla ei jääty missään ominaisuudessa heikommaksi konekalanterointiin verrattuna, joten välikalanterin muuttamiseksi soft-kalanteriksi ei ole kartongin laadun kannalta esteitä. Päällysteen kalsiumkarbonaattiosuuden noustessa vaaleus nousi huomattavasti. Samalla absorptiokyky kasvoi. 50 % kalsiumkarbonaattiosuudella kiilto laski hivenen kun päällystemäärä oli yli 15 g/m². Painatuksessa kalsiumkarbonaattia sisältävälle päällysteelle saatiin tasaisempi painojälki.

ALKULAUSE

Diplomityön tarkoituksena oli selvittää pohjakartongin vaikutusta päällystettävyyteen ja painettavuuteen. Samalla tutkittiin myös soft-kalanteroinnin ja pastaostumuksen vaikutusta edellä mainittuihin tekijöihin.

Tutkimuksen vaatimat koeajot tehtiin Valmetin tutkimuskeskuksessa Järvenpäässä ja Keskuslaboratoriossa.

Kiitokset arvokkaista neuvoista ja työn ohjauksesta professori Hannu Paulapuruolle ja tutkimuspäällikkö Ilmo Isotalolle. Erityiset kiitokset ansaitsevat vaimoni Paula ja tyttäreni Hanna, jotka kannustivat minua työn loppuunsaattamiseksi.

Marko Koskela-Koivisto

Kemi 15.8.1990

Marko Koskela-Koivisto

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO.....	1
2. LAINERIKARTONGIN TUOTEANALYYSI JA AALTOPAHVIN VALMISTUS.....	2
2.1. Lainerikartongin tuoteanalyysi.....	2
2.2. Aaltopahvin valmistus.....	3
3. TERÄPÄÄLLYSTYS.....	7
3.1. Päällystystapahtuma.....	7
3.2. Teräpäällystyksessä vaikuttavat voimat....	11
3.3. Päällystemäärään vaikuttavat tekijät.....	12
3.4. Päällysteen vaikutus pinnan laatuun.....	14
4. POHJAKARTONGIN PÄÄLLYSTETTÄVYYTEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ.....	16
4.1. Karheuden vaikutus päällystyksessä.....	17
4.1.1. Karheuden pienentäminen.....	20
4.1.2. Karheuden mittausmenetelmiä.....	21
4.2. Absorption vaikutus päällystyksessä.....	22
4.2.1. Absorption vähentäminen.....	25
4.2.2. Absorption mittausmenetelmiä.....	27
4.3. Kapillaari- ja painepenetraation merkitys päällystyksessä.....	27
4.4. Liimauksen vaikutus päällystyksessä.....	32

5. PÄÄLLYSTYKSESSÄ VAIKUTTAVAT PASTAN OMINAISUUDET..	35
5.1. Vesiretentio.....	35
5.2. Jähmettymiskuiva-ainepitoisuus.....	36
6. PÄÄLLYSTEEN ERI KOMPONENTTIENTEN VAIKUTUS PÄÄLLYSTYSTULOKSEEN.....	39
6.1. Pigmentin vaikutus päällysteen laatuun....	39
6.1.1. Pigmentin fysikaalisten ominaisuuksien vaikutus päällysteeseen.....	39
6.1.2. Eri pigmenttien ominaisuuksia.....	42
6.2. Sideaineen vaikutus päällysteen laatuun...	45
6.2.1. Vesiliukoisten sideaineiden ominaisuuksia.....	46
6.2.2. Lateksien ominaisuuksia.....	48
6.3. Lisäaineiden vaikutus päällysteen ominaisuuksiin.....	51
7. SOFT-KALANTEROINTI.....	53
8. FLEKSOPAINATUS.....	61
9. FLEKSOPAINETTAVUUS.....	65
9.1. Preprintin ja postprintin vertailu.....	65
9.2. Fleksopainokoneen vaikutus painotulokseen.	66
9.3. Painoalustan vaikutus fleksopainatuksessa.	69
9.4. Päällysteen vaikutus fleksopainatuksessa..	76
9.5. Mottlingin kehittyminen painatuksessa.....	82
9.6. Mittausmenetelmiä painettavuuden arvioimiseksi.....	86

10. KIRJALLISUUSOSAN YHTEENVETO.....	89
11. KOKEELLISEN OSAN TAVOITTEET.....	92
12. LABORATORIOKOEISSA KÄYTETYT MENETELMÄT.....	93
13. ESIKOEET.....	94
13.1. Laatuvaihteluiden määrittäminen ja eri mittausmenetelmien vertailu.....	94
13.1.1. Mittausten suoritus.....	94
13.1.2. Laatuvaihtelukokeiden tulokset..	94
13.1.3. Johtopäätökset.....	96
13.2. Koepäällystys.....	98
13.2.1. Kokeissa käytetty laitteisto ja pastakoostumus.....	98
13.2.2. Koeajon hallintasuureet.....	101
13.2.3. Koepäällystysten tulokset.....	101
13.2.3.1. Päällystysten vaikutus..	101
13.2.3.2. Kalanteroinnin vaikutus.....	105
13.2.3.3. Koepainatus.....	108
14. VARSINAINEN PÄÄLLYSTYSKOEAJO.....	109
14.1. Koelaitteisto.....	109
14.2. Koeajon hallintasuureet.....	110
14.3. Pohjakartongin ominaisuudet.....	110
15. PÄÄLLYSTYSKOEAJON JA PAINATUKSEN TULOKSET....	112
15.1. Koeajon kulku.....	112

15.2. Päällystys ja soft-kalanterointi.....	112
15.2.1. Pastan ominaisuudet.....	112
15.2.2. Päällystetyn kartongin laatu...	113
15.3. Painojäljen laatu.....	125
16. TULOSSIEN TARKASTELU.....	135
16.1. Koepäällystys(esikoe).....	135
16.2. Varsinainen päällystykoeajo.....	136
16.2.1. Päällystystulosten tarkastelu..	136
16.2.2. Painatustulosten tarkastelu....	139
16.3. Tulosten luotettavuus.....	142
17. EHDOTUKSET JATKOTUTKIMUKSIKSI.....	143
18. KOKEELLISEN OSAN YHTEENVETO.....	144
19. YHTEENVETO.....	146
LÄHDELUETTELO.....	148
LIITTEET.....	162

1. JOHDANTO

Lainerikartonkeja käytetään entistä enemmän hyvää ulkonäköä vaativiin kohteisiin, jolloin myös niiden painettavuusvaatimukset ovat nousseet. Syynä tähän on pakkausten markkinoiminen suoraan kuluttajille sekä moniväristen sävykuvien ja viivakoodien painatus. Fleksopainatuksella pyritään offset-laadun tasolle, mikä edellyttää valkopintaisen ja etenkin päällystetyn lainerin käyttöä. Tämä näkyy pilvilainerin ja etenkin White Top lainerin lisääntyneenä kysyntänä. Vastataksaan painolaitosten asettamiin korkeampiin vaatimuksiin, on lainerkartongin tuotantolaitoksissa päädytty päällystetyn lainerin valmistamiseen.

Työn lähtökohdana on White Top kraftlainerin päällystykseen aloittaminen Kemi Oy:ssä lokakuussa 1990. Työssä pyritään selvittämään pohjakartongin sekä päällysteen komponenttien ja kalanteroinnin vaikutus lopputuotteen ominaisuuksiin ja painettavuuteen. Tutkimuksessa käsitellään ainoastaan kartonkikoneen kuivanpään prosesseja eikä kiinnitetä huomiota massan valmistuksen, massakomponenttien ja märänpään vaikutukseen. Kemi Oy:ssä ei ole aikaisemmin valmistettu päällystettyä laatua, joten työssä on paikallaan kuvata päällystysoperaatiota melko yksityiskohtaisesti.

2. LAINERIKARTONGIN TUOTEANALYYSI JA AALTOPAHVIN VALMISTUS

2.1. Lainerikartongin tuoteanalyysi

Tuoteanalyysin perusteella pyritään selvittämään tuotteen toiminnallisen laadun kannalta tärkeät ominaisuudet. Näiden ominaisuuksien perusteella pyritään edelleen löytämään ne mitattavissa olevat tuotteen tilasuureet, jotka parhaiten kuvaavat tai ennustavat tuotteen toiminnallista laatua.

Kraftlainereita käytetään aaltopahvien pintakerroksiksi ja moniaaltoisten aaltopahvien runkokerroksiksi. Joskus valkaisuomattomia lainereita käytetään myös rullien kääreenä sekä pyöreitten, kerrostettujen pahvitynnyreiden ja hylsyjen raaka-aineena.

Päällystetyn kartongin tärkeimpiä ominaisuuksia ovat hyvä sileys, puristuslujuus, pintalujuus ja liimattavuus. Pinnan tulee olla luja, tiivis ja sileä. Kuormalavoja pinotaan useita päällekkäin pitkiksikin ajoiksi, jolloin alimmaisiin laatikoihin kohdistuu suuri rasitus. Nykyään pidetään pinottavuutta aaltopahvilaatikon tärkeimpänä laatukriteerinä eikä niinkään käsittelykestävyyttä, kuten aikaisemmin. Laatikoita pinottaessa niiden kestävyys riippuu ensisijaisesti puristuslujuudesta. Lainerin poikkisuuntainen jäykkyys vaikuttaa ratkaisevasti pinoamiskestävyyteen. Tavallisesti poikkisuuntainen jäykkyys määritellään Ring Crush -kokeella /1,2/.

Aaltopahvilaatikon sisällön täytyy säilyä turmeltumattomana, jolloin laatikon mekaaninen lujuus ja sileys ovat ehdottoman tärkeitä. Lävistys- ja puhkaisukoe on tavallisin tapa mitata näitä ominaisuuksia. Lainerin puhkaisulujuus vaikuttaa merkittävästi aaltopahvilaatikon puhkaisulujuuteen. Myös lainerin repäisylujuus

vaikuttaa osaltaan mekaaniseen lujuuteen ja sileyteen /1,2/.

Laatikoiden pitää kestää hankautumista eikä laineri saa palstautua aallotuskoneen kuivatusosassa tai kuljetuksen aikana. Tällöin hankaus- ja palstautumislajuuden tulee olla hyvä /2/. Ulkopakkauskartongilta vaaditaan lisäksi jonkin asteista vedenpitävyyttä /3/.

Lainerin prosessoitavuuden tulee olla hyvä ja sen pitää kestää aallotusprosessissa. Useimmiten näitä toiminnallisia ominaisuuksia mitataan taittolujuudella ja kerrosten sitoutumislajuudella. Lainerin käyttäytymiseen prosessissa ja valmiissa aallotuskartonkilaatikoissa vaikuttaa myös huokoisuus ja vedenimukyky /2/.

Päällystetyiltä kraftlainereilta edellytetään lisäksi hyvää painojälkeä. Painovärin tulee imeytyä tasaisesti ja painojäljen densiteetin tulee olla hyvä. Tällöin sileyden tulee olla melko hyvä, huokoisuuden tasainen ja melko pieni sekä absorptio-ominaisuuksien tasaaisia. Kartongin pinnan tulee olla vaalea ja kiiltävä.

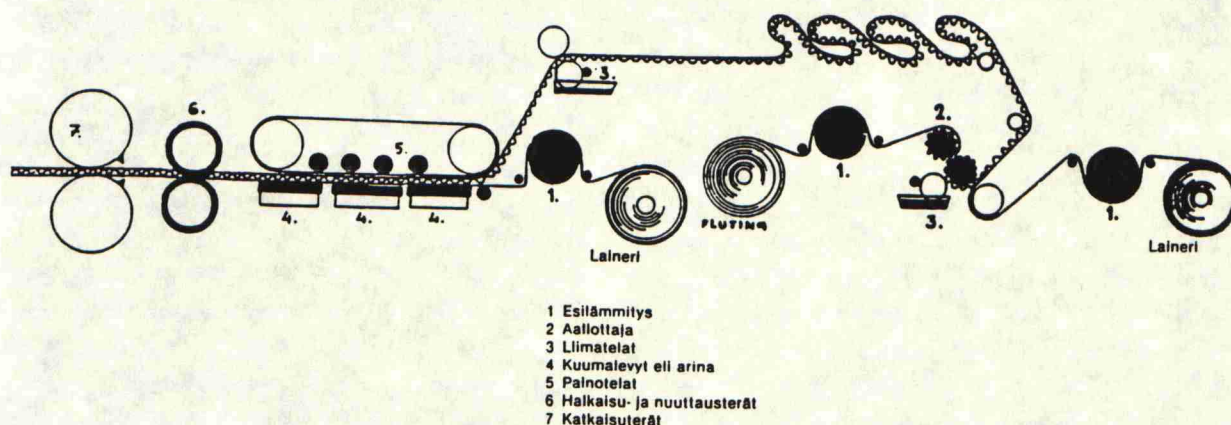
2.2. Aaltopahvin valmistus

Aaltopahvi muodostuu kahdesta tai useammasta kartonki-kerroksesta, joista vähintään yksi on aallotettu (fluting) ja liimattu aallonharjoistaan kartonkiin tai kahden kartongin väliin. Flutingin tehtävänä on pitää pintakartongit tietyn etäisyyden päässä toisistaan ja antaa aaltopahville suuri hitausmomentti. Flutingin raaka-aineena käytetään kemimekaanista lehtipuumassaa, joka antaa erinomaiset litistymislajuusarvot. Valmiin aaltopahvin paksuus riippuu aallon korkeudesta. Suomessa käytössä olevia aallonkorkeuksia ovat:

	Aallonkorkeus mm	Aaltoluku metrillä
E-aalto, mini aalto	1,5	300
B-aalto, hieno aalto	3,0	150
C-aalto, keskikarkea aalto	4,0	130

Aaltopahvit jaetaan eri tyyppeihin aaltokerroksien ja suorien kartonkien lukumäärän perusteella. Käytetyimpiä aaltopahveja ovat: yksipuolinen, kaksipuolinen, kaksipuolinen kaksiaaltoinen ja kaksipuolinen kolmiaaltoinen aaltopahvi. Kussakin tapauksessa aaltojen koko voi vaihdella eri kerroksissa.

Kuvassa 1. näkyy aaltopahvikoneen periaate. Esilämmit-
täjän tehtävänä on poistaa kartongista kosteutta ja
lämmittää se niin, että liima sitoutuu nopeasti. Esiläm-
mityksessä käytetään höyryllä kuumennettua sylinteriä.
Fluting kostutetaan ja lämmitetään höyryllä, jolloin se
muotoutuu helposti aallotustelojen välissä. Kuumien
aallotustelojen välissä kosteutta poistuu ja aalloista
tulee pysyviä /3/.



Kuva 1. Aaltopahvin valmistuksen periaate /4/.

Liimauslaitteella sivellään aallonharjoihin liimaa ja fluting liitetään puristustelan nipissä kiinni lainerin pintaan. Kaksipuolisessa aaltopahvikoneessa on ennen toisen lainerin liimausta koneella ns. silta, johon ajetaan rullanvaihtoja varten väliavarasto ettei koko konetta tarvitsisi pysäyttää rullanvaihdossa. Tämän jälkeen tulee toinen liimauslaite, jossa yksipuoliseen aaltopahviin liimataan esilämmitetty pintalaineri pienellä puristuksella aaltorakenteen vaurioitumisen välttämiseksi. Lopullinen liimautuminen tapahtuu kuivatusarinalla, jossa liima gelatinoituu. Tämä saattaa olla päällystetyn aaltopahvin kannalta kriittinen vaihe, koska pohjakartongissa oleva kosteus voi aiheuttaa päällystetyn pinnan kuplimista eli blistering-ilmion. 205 g/m^2 päällystämättömällä lainerilla 8 % alkukosteudesta 75 % haihtui aaltopahvikoneella. Ne-liömassaltaan korkeampi kartonki kuplii helpommin suuremman höyrystyvän vesimäärän vuoksi. Päällysteen huokoisuuden lisääminen ja kosteuspitoisuuden laskeminen vähentäisivät kuplimisen aiheuttamia haittoja /3,5/.

Lainerin liian pieni kosteus aiheuttaa ohuilla lainereilla pinnan kupruilua. Jo alkuaan kartonkikoneella liian kuivaksi ajettu laineri kuivuu ennen aallotusta etulämmittäjällä entistäkin kuivemmaksi ja samalla se kutistuu. Liimauksessa siirtyy laineriin liimasta ja flutingista kosteutta, jonka vuoksi laineri laajenee. Laineri ei pääse laajenemaan kohdissa, jossa se on lujasti liimautunut aallonharjoihin. Sen sijaan aaltojen välissä laajeneminen on mahdollista ja näihin kohtiin muodostuu kupruja ja päällystetyillä pinnan halkeamista. Kupruilua voidaan käytännössä vähentää välttämällä ajamasta laineria liian kuivaksi sekä parantamalla poikkisuuntaista dimensiostabiliteettia.

Aaltopahvin suoruus on myöhemmissä jalostusvaiheissa tärkeätä, jonka vuoksi pahvia pidetään kuivatusosalla tietyn puristuksen alaisena. Käyristyminen johtuu lainereitten kosteuserosta, jonka vuoksi jompikumpi

laineri kutistuu enemmän. Mitä suurempi on lainerien välinen kosteusero, sitä suurempi on käyristymispyrkimys. Aaltopahvin käyryys huonontaa laatikon lujuutta, koska mitat vaihtelevat ja esiintyy vinoutta.

Kartongin vetolujuus, venymä ja jäykkyys ovat tärkeimpiä nuutattavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Nuuttauslaitteella pahvi nuutataan pyöreäharjaisella kiekkoterällä ja leikataan pitkittäin. Nuuttauksessa kartonkiin jää plastinen muodonmuutos. Päällysteen ominaisuuksilla ei ole käytännössä havaittu olevan merkitystä nuutattavuuden kannalta /6/. Päällysteen on kuitenkin oltava riittävän luja ja plastinen ettei tapahdu murtumista ja sen seurauksena päällysteen hilseilyä, mikä taas edellyttää riittävän pehmeän lateksin käyttöä. Rainan katkaisu tapahtuu yleisimmin pyörähdysleikkurilla, jonka jälkeen vastaanottolaite pinoaa arkit.

3. TERÄPÄÄLLYSTYS

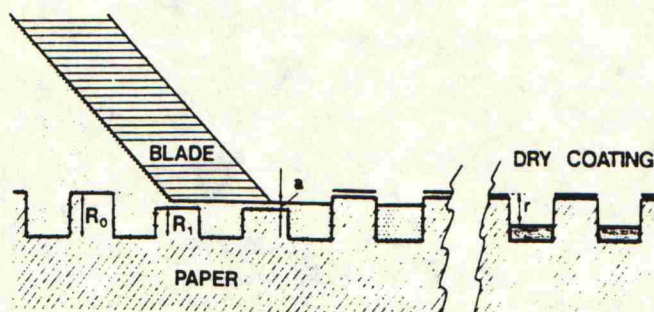
3.1. Päällystystapahtuma

Pigmenttipäällystyksellä on kaksi tarkoitusta /7/

- peittää pohjapaperi mahdollisimman hyvin mikrohuko-
koisella päällysteellä
- alentaa paperin pinnan karheutta täyttämällä pohja-
paperin epätasaisuuksia

Ideaalinen päällyste on yhdistelmä pinnan tasoittamista huokosia täyttäen ja hyvää peittävyyttä alhaisilla päällystemäärillä /8/.

Teräpäällystys ei ole tasapaksun kerroksen sivelemistä paperin pinnalle /9/, vaan se on suurelta osin pohjarainan kuoppien täyttämistä ja karheudella on ratkaiseva osuus päällystemäärän muodostumisessa /10/, kuten kuvassa 2. on esitetty. Teräpäällystys kuuluu kontaktipäällystysmenetelmiin ja se on kaikkein yleisin käytetyistä päällystysmenetelmistä /11/. Terä kulkee pinnassa olevien kuitujen huippujen päällä, jolloin päällystemäärä riippuu karheustilavuudesta. Toisen teorian mukaan paperin pinnan ja terän kärjen väliin muodostuu terää kantava hydrodynaaminen paine. Saavutettava peittokyvyn ja sileyden yhdistelmä on melko hyvä, mutta päällystemääräjakama on leveä /7/. Teräpäällystys tasoittaa paperin pinnan tehokkaasti. Pastassa on kuitenkin lähes puolet vettä, jonka haihduttaminen pienentää päällysteen tilavuutta, jolloin alkuperäinen epätasaisuus palautuu, tosin pienempänä.



Kuva 2. Malli teräpäällystimellä syntyvästä päällysteen rakenteesta /12/.

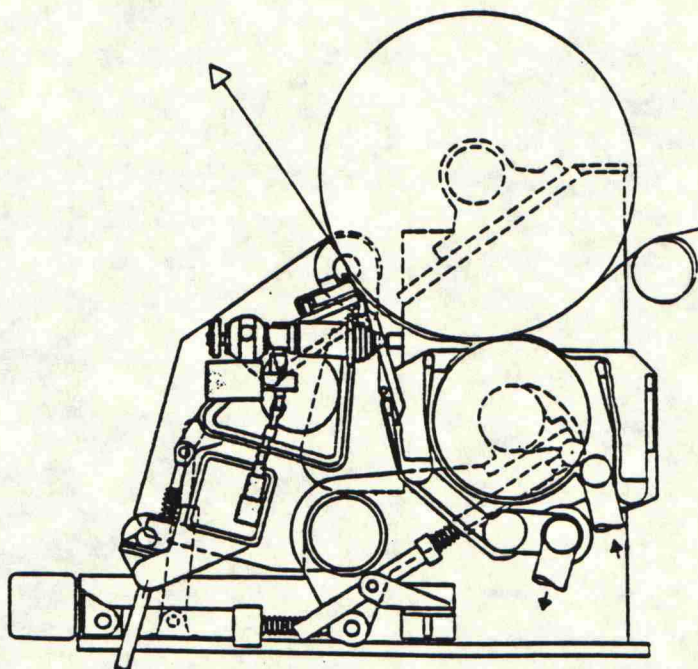
Teräpäällystykseen liittyvät leikkausvoimat pyrkivät järjestämään levymäiset partikkelit pinnan suuntaisesti. Suurkulmaterällä päällystepasta täyttää pinnan koloja enemmän kuin pienkulmaterällä /12/. Aikaisemmin teräpäällysteen viirut olivat ongelmana, mutta pienkulmateräpäällystys on vähentänyt viiruongelmaa ratkaisevasti, koska pienet roskat menevät terän ali.

Teräpäällystysmenetelmällä on useita ylivoimaisia etuja muihin päällystysmenetelmiin nähden. Päällystyspastan kuiva-ainepitoisuus on korkea sekä sideainetarve pieni. Päällystemäärät ovat hyvin hallittavissa, eikä ajonopeudessa ole laiteteknisiä rajoituksia. Lisäksi päällyste on mikrosileydeltään ja tasomaisuudeltaan erittäin hyvä, mikä antaa painatuksessa paremman painojäljen kuin muilla päällystysmenetelmillä saadut päällysteet /13/.

Päällystettävä raina johdetaan kahden samaan suuntaan pyörivän telan välisen nippiin, johon tulee päällystyseosta nostotelan nostamana. Raina seuraa nipin jälkeen edelleen vastatela ja kartongin pinnalla on huomattavasti tavoitearvoa paksumpi päällystekerros. Pinnalle jäävän seoskerroksen paksuuteen vaikuttaa telojen välisen raon suuruus, sivelytelan nopeus, telojen halkaisijat ja seoksen ominaisuudet. Päällystysaseman käyttöön otossa kesken ajon on aseman lämmitykseen varattava riittävästi aikaa, koska telojen materiaalina

käytetty kumi lämpölaajenee voimakkaasti ja nippirako saattaa kaventua jopa puoleen alkuperäisestä.

Terän avulla kaavitaan pois ylimäärä päällystysseoksesta ja lopullinen päällystemäärä riippuu terään vaikuttavien voimien keskinäisistä suuruuksista sekä pohjakartongin ominaisuuksista /14/. Valmetin Auto Blade-teräpäällystysasemassa muutettaessa teräpainetta muutetaan automaattisesti myös teräpalkin asemaa siten, että teräkulma pysyy vakiona eikä muutoksessa synny terän hioutumisesta aiheutuvaa epäjatkuvuuskohtaa (kuva 3.) /15/.



Kuva 3. Kemi Oy:n lainerikartonkikoneelle tuleva Valmetin Auto-Blade-päällystysyksikkö /16/.

Veden poistumisen osalta teräpäällystysprosessi voidaan jakaa viiteen vaiheeseen, joihin kaikkiin pohjaraina vaikuttaa tavalla tai toisella:

- applikointivaihe
- viipymä applikoinnin ja terän välillä
- teräkaavaus
- viipymä ennen kuivainta
- kuivatus /9,17/.

Applikoinnissa tietty pastan ylimäärä levitetään pohjarainan pintaan. Pastan nestemäinen faasi - vesi, sideaineet ja lisäaineet - kostuttaa ensin pohjarainan pintaa, minkä jälkeen neste alkaa imeytyä rainan huokosiin. Pasta tunkeutuu paperin suuriin huokosiin ja näin syntyy nopeasti suodoskakku. Suodoskakku muodostaa kasvaessaan suurenevan esteen nestefaasin liikkumiselle. Pastan vesi ja liukoiset sideaineet tunkeutuvat pohjapaperin huokosiin, mutta myös pigmentin hienoaines vaeltaa pohjapaperiin /9/.

Suuremmilla koneen nopeuksilla (> 4 m/s) ei laajamittaista kapillaariabsorptiota massaliimattuun rainaan ehdi tapahtua ja suodatinkakun muodostumisen vaikutus päällystemäärään on vähäinen. Suurimolekyylliset, liukoiset sideaineet ja emulsiopartikkelit absorboituvat suurelta osin itse päällysteeseen ja veteen liuenneet aineet imeytyvät veden mukana pohjarainaan.

Applikaattoritelan nipissä muodostuva hydrodynaaminen paine (yli 0,3 bar) aiheuttaa painepenetraatiota pohjapaperin huokosiin. Myös terällä tapahtuu paineisku ja oletettavaa onkin, että voimakkaan paineiskun jälkeen pohjakartongin absorptiokyky on huomattavasti heikentynyt. Nopeilla koneilla ei ennen terää tapahtuva kapillaariabsorptio ole merkittävä. Terän alla painepulssi kestää vain noin 20 - 40 μ s, joten nestefaasin tunkeutuminen on vähäistä olemassa olevan suodoskakun vuoksi /18/. Asettumisvaiheen aikana tapahtunut absorptio on pientä verrattuna applikoinnissa tapahtuneeseen absorptioon /17,19/.

Annostelun jälkeen pasta jähmettyy, mikä hidastaa nestefaasin absorboitumista pohjakartonkiin ja pienentää sideaineen vaellusta kuivatuksessa /17/. Päällystetyn kartongin kuivatuksessa saattaa syntyä kasteusgradientti, mikä aiheuttaa käyristymistä. Käyristymisen poistamiseksi kostutetaan kartongin taustaa vedellä tai laimeahkolla pintaliimalla.

3.2. Teräpäällystyksessä vaikuttavat voimat

Terään vaikuttavat voimat jaetaan mekaanisiin ja dynaamisiin voimiin. Mekaaninen voima puristaa terää kartonkia vasten, kun taas dynaamiset voimat pyrkivät taivuttamaan terän irti rainan pinnasta /14/. Teräpäällystyksen päällystemäärän säätö perustuukin mekaanisten ja dynaamisten voimien suuruussuhteeseen, joskin oma ratkaiseva vaikutuksensa on myös päällystettävällä pohjapaperilla ja sen ominaisuuksilla. Mitä pienemmäksi mekaanisen ja dynaamisten voimien summan erotus muodostuu, sitä suurempi on päällystemäärä ja sitä epätarkempi on radan poikkisuunnan päällystemäärän säätö, koska tällöin päällystemäärä reagoi herkemmin pieniin voiman muutoksiin /20/.

Dynaamiset voimat syntyvät, kun nostotelan paperin pinnalle nostama päällystyskerros törmää terään ja ylimäärä siitä muuttaa liikesuuntaansa ja virtaa terää pitkin alas. Dynaamiset voimat jaetaan edelleen impulsivoimaan, patovoimaan ja hydrodynaamiseen voimaan. Hydrodynaaminen voima riippuu nesteen viskositeetista ja se on suoraan verrannollinen nopeuteen ja se kasvaa teräkulman pienentyessä. Suurkulmateräpäällystyksessä hydrodynaamisen voiman vaikutus on vähäinen verrattuna impulssi- ja patovoimaan /14,20/.

Impulsiivisia voimia syntyy liikemäärävirran muutoksesta päällystysseosylimäärän törmätessä terään ja muuttaessa suuntaa. Nopeus- eli patovoima syntyy seoksen virtausnopeuden paikallisista vaihteluista, jotka johtuvat päällystysseoksen pakkaantumisesta terän ja paperin muodostamaan kiilamaiseen tilaan. Impulssivoima ja patovoima ovat suoraan verrannollisia massavirran ja nopeuden tuloon. Teräkulman pienentyessä puolestaan patovoima kasvaa ja impulssivoima pienenee /20/.

3.3. Päällystemäärään vaikuttavat tekijät

Stabiileissa päällystysoloissa päällystemäärä muodostuu teräpäällystyksessä paperia puristavan voiman ja paperin pintaominaisuuksien välisen vuorovaikutuksen perusteella. Puristavaa voimaa muuttamalla muutetaan terän ja paperin välistä tilaa, jonka päällystysseos voi täyttää. Terän mekaaninen kuormitus ja päällystysseoksen aiheuttamat dynaamiset voimat vaikuttavat terän paperia puristavan voiman suuruuteen /20/. Päällystemäärä on hallittavissa siihen pisteeseen asti, jossa terä irtoaa paperin pinnasta /11/.

Teräpäällystyksen päällystemäärään ratkaisevimmin vaikuttavia tekijöitä on pohjapaperin karheus. Riippuvuus on selvä, vaikka terän alla vallitsevat aivan erilaiset olot kuin staattisessa sileysmittauksessa. Saavutettavissa olevan päällystemääräalueen määräävät normaalissa teräpäällystysprosessissa etenkin terän alla oleva paperin pinnan karheus ja kokoonpuristuvuus /11,18,21/. Päällystemäärää voidaan lisätä teräpainetta pienentämällä ja nostamalla nostotelan tai koneen nopeutta. Koneen nopeudella on vaikutusta sekä päällystemäärään että päällysteen laatuun. Kaavaus- ja kuivatusviive riippuvat koneen nopeudesta, samoin kaavauksessa vaikuttavat voimat /10/. Myös päällystysseoksen viskositeetin nosto, etenkin suurilla päällystemäärillä lisää päällystemäärää /14/.

Veden tunkeutumisen alkuvaiheessa pastan kuiva-ainepitoisuus nousee paperia lähinnä olevassa kerroksessa, jonka aiheuttama virtausvastus hidastaa myöhempää imeytymistä. Pohjarainan pinnalle muodostuu suodatin-kakku, jonka rakenteella on suuri merkitys kartongin jatkokäsittelylle. Epätasaisesti imevässä kartongin pinnassa suodatinkakku muodostuu kohdissa, joissa absorptio on suurin. Pinnan huokoiset kohdat (pintaprofiilissa yleensä kuoppia) tiivistyvät ja täyttyvät, kun

taas rainan tiiviissä paikoissa (profiilissa usein kohoumia) suodatinkakun muodostuminen on heikkoa. Päällystettäessä huokoista pintaliimaamatonta paperia osa päällystyspastan pigmenttiosasta saattaa tunkeutua hyvin syvälle pohjarainaan /17,22/.

Tela-applikoinnissa nippipaine määrää veden tunkeutumisen, joten vesimäärää voidaan vähentää nippiä avaamalla. Nostotelan ja terän välillä tapahtuu kapillaarikuljetusta. Terän alla korkea ulkoinen paine aikaansaa parin prosentin nousun kuiva-ainepitoisuudessa, huolimatta paineen erittäin lyhyestä vaikutusajasta. Terän jälkeen veden tunkeutuminen jatkuu kapillaari- ja diffuusiokuljetuksena, joista jälkimmäisen merkitys kasvaa kuiva-ainepitoisuuden kasvaessa /23/.

Päällyste pyrkii asettumaan ajan kuluessa teräpäällystimen jälkeen paperin pinnan mikroskooppisen pinnan mukaan. Jos päällyste pystytettäisiin "jäädymään" siihen tilaansa kuin se on teräpäällystimeltä tullessaan, on luultavaa että päällysteen pinta jäisi yhtä tasaiseksi kuin se oli terän jälkeenkin. Näyttää myös siltä, että sideainevaellus pysähtyisi /24/.

Päällystystulokseen voimakkaimmin vaikuttavia tekijöitä ovat pastan osalta; kiintoainepitoisuus, vesiretentio, viskositeettitaso, jähmettymissakeus, pigmenttipohja, sideainepitoisuus ja sideaineen laatu. Pastakohdasta tärkeimmät muuttujat ovat kiintoainepitoisuus ja jähmettymissakeus. Pohjarainamuuttujista sekä karheudella että absorptiokyvyllä on suuri vaikutus lopputulokseen /10/. Päällystyslaitteen muuttujia ovat; kaavauspaine, nopeus ja geometriset tekijät, joista tärkein on kaavauspaine.

3.4. Päällysteen vaikutus pinnan laatuun

Kartongin kohdalla suurimmat päällysteen sileysongelmat ovat peräisin pohjakartongin karheudesta, eikä päällysteen korkeakaan bulkkiarvo pysty parantamaan tilannetta ratkaisevasti /17/. Mitä karheampi pohjaraina ja mitä suurempi on pastan kutistuminen sitä epätasaisempi on päällysteen pinta.

Pohjapaperin Bendtsen-karheudella 300 ml/min karheiden kohtien syvyys on suurimmillaan 15 - 20 μm . On selvää ettei tällaista karheutta voida täyttää päällysteellä, jonka kerrospaksuus on alle 10 μm . Toisaalta suurimpien huokosten täyttäminen ei olekaan kovin tärkeitä paperin painettavuuden kannalta /7/.

Päällystemäärän lisääntyessä paperin päällystämättömien kohtien lukumäärä vähenee. Samalla myös suuret päällystämättömät kohdat vähenevät, mikä aiheuttaa päällystämättömien kohtien pinta-alan jyrkän pienenemisen /7/.

Kartovaaran kokeiden perusteella /7/ karheammalla paperilla teräpäällystys on tehokkain karheuden pienentäjä pienillä päällystemäärillä (7 - 8 g/m^2), tällöin karheustilavuuden pienentyminen on lähellä teoreettista maksimia. Paperin syvimpien (3 μm) ja leveimpien (100 μm) kuoppien lukumäärä pieneni nopeasti aina päällystemääriin 12 - 15 g/m^2 , mutta ei muuttunut tämän jälkeen paljoakaan. Pienimpien huokosten lukumäärä ei muuttunut oleellisesti (alle 1 μm ja alle 100 μm). SDTA:lla (Short Dwell Time Applicator) eli lyhytviipymä päällystimellä karheuden pienentyminen on taas suurilla päällystemäärillä voimakkaampaa kuin pienillä.

Täten suuremmilla päällystemäärillä karheuden pieneneminen on paljon hitaampaa. Karheus pienenee, koska päällysteen paksuuden vaihtelut tasoittavat pohjapaperin paksuusvaihteluita. Tämä prosessi on hidas, koska vain 20 - 35 % päällysteen paksuudesta vaikuttaa pääl-

lysteen paksuusvaihteluiden kautta pinnan sileyteen /7/.

Pohjakartongin karheus- ja kokoonpuristuvuuserot aiheuttavat marmorointiefektin, joka kuitenkin pienenee päällystemäärän noustessa. Syynä marmorikuvioisen pinnan syntymiseen ovat kartongin pinnan ja päällystyspastan vaaleuserot sekä päällysteen absorptiokyvyn vaihtelut, mikä merkitsee myös painojäljen epätasaisuutta /11,13/.

4. POHJAKARTONGIN PÄÄLLYSTETTÄVYYTEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

Pohjakartongin varsinainen tehtävä päällystysprosessissa on kulkea katkoitta koneen läpi ja muodostaa sopiva alusta päällysteelle. Pohjakartongin hyvä ajettavuus päällystyslaitteella on tasaisen painettavuuden kannalta tärkeä, koska katkon jälkeinen aloitus päällystyksessä aiheuttaa epäjatkuvuuskohdan päällystämäärässä ja kosteudessa eli muodostuu hylkyä. Työssä ei kiinnitetä huomiota kartongin ajettavuuteen vaan päällysteen vaatiimiin ominaisuuksiin.

Pohjakartongin eri ominaisuuksien poikkiprofiilien tulee olla päällystykseen sopivat ja mekaanisia vikoja mahdollisimman vähän. Päällysteen kyky parantaa rainan perusvikoja on rajoitettu, sillä paraskaan päällyste ei pysty kompensoimaan huonon pohjapaperin vikoja. Ylipääntään tulisi ongelmia ratkottaessa kiinnittää huomiota niiden aiheuttajaan, ennen kuin ryhdytään päällystysmuuttujilla korjaamaan asiaa /18,25,26,27,28/.

Tärkeimmät pohjakartongin ominaisuudet ovat päällysteen laadun kannalta pinnan karheus sekä pintakerroksen kokoonpuristuvuus sekä absorptiokyky ja absorption tasaisuus. Myös tiheyden, paksuuden, sileyden ja huokoisuuden tulee olla mahdollisimman tasaisia. Pohjakartongille asetettavia vaatimuksia ovat /17,18,26/:

- formaatio mahdollisimman tasainen, jotta myös päällyste ja painojälki muodostuisivat tasaisiksi. Huono formaatio on usein oire muista tasaisuusongelmista.

- riittävä sileys, sillä karheuden ylittäessä tietyn raja-arvon sekä päällystettävyyys että painettavuus huononevat. Pohjakartongin sileys ja huokoisuus vaikuttavat päällystetyn tuotteen vastaaviin ominaisuuksiin, peittävän päällystekerroksen aikaansaamiseen

tarvittavaan päällystemäärään sekä päällysteen tarttumiseen ja sideaineiden vaellukseen.

- absorptio tasainen ja tarpeeksi pieni. Absorptiokyky on riippuvainen rainan huokosrakenteesta, kosteudesta ja lämpötilasta sekä pintakemiallisista ilmiöistä. Massa- ja pintaliimauksella absorptiota säädetään siten, että optimaalinen määrä sideainetta imeytyy päällystyspastasta pohjakartonkiin. Liian voimakas imeytyminen heikentää päällysteen pintalujuutta ja aiheuttaa liian suuren painovärin absorption. Yksi varmimmista tavoista saavuttaa hyvä päällystystulos on pienentää pohjapaperin ominaisuuksien epätasaisuutta. Pohjakartongin epätasainen absorptio huonontaa myös painojäljen tasaisuutta.

Lopputuloksen suhteen pohjakartongin vaikutus on samaa luokkaa kuin päällystysseoksen tai -prosessin vaikutus /29/.

4.1. Karheuden vaikutus päällystyksessä

Pohjapaperin karheudella on optimialue, sillä hyvin karhealle pinnalle on vaikea saada riittävää peittoa ja liian sileällä pinnalla joudutaan käyttämään pieniä teräpaineita, jolloin hallittavuus heikkenee ja päällysteen profiilista tulee huono.

Kartongin ollessa kokoonpuristuvaa materiaalia muuttuvat sen fysikaaliset ominaisuudet kuormituksen ja kuormitusajan muuttuessa. Näistä ominaisuuksista päällystemäärän muodostumisen kannalta tärkein tekijä on pinnan karheustilavuus, koska normaalissa teräpäällystyksessä terä on yleensä aina kosketuksissa paperin ylimpiin kuituihin. Täten terän ja paperin välistä mahtuu päällystysseosta vain sen verran kuin paperin karheustilavuus edellyttää. Karheustilavuus vuorostaan määräytyy terän antaman puristuksen mukaan, joten päällystemäärän säätö perustuu karheustilavuuden muut-

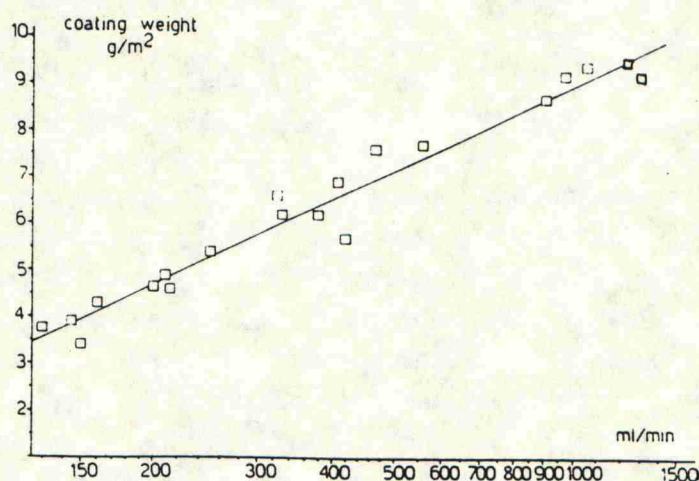
tamiseen. Mitä suurempi on terän paperia kuormittava voima sitä enemmän paperi puristuu kasaan ja sitä pienemmäksi tulee myös karheustilavuus ja sitä pienemmäksi tulee päällystemäärä. Huomattava on, että paperi ottaa tietyn minimimäärän päällystettä, vaikka paperin kuormitusta tästä vielä lisättäisiin /9,20,30/.

Pienillä päällystemäärillä (3 - 6 g/m²) karheuden kasvu nosta päällystemäärää lähes lineaarisesti. Päällystetyn kartongin pinnan sileys paranee pohjakartongin karheuden pienentyessä ja/tai päällystemäärän kasvaessa, koska päällysteen läpitunkeutuvia kuituflokkeja on vähemmän /9,12,17/. Kuitujen turpoaminen ei ole normaalissa teräpäällästyksessä niin tärkeää kuin SDTA:lla. Korkeilla päällystemäärillä karheus johtuu suurimmaksi osaksi siitä, että pohjapaperin karheus on yleensä suuri verrattuna päällysteen keskimääräiseen paksuuteen. Tämän vuoksi päällyste pystyy peittämään vain osan karheudesta /7/. Tästä seuraa kiillon ja absorptio-ominaisuuksien epätasaisuutta /28/.

Pienimittakaavainen päällystemäärävaihtelu merkitsee suunnilleen vastaavaa vaihtelua sideainemäärässä ja kuivatuksessa päällystekerroksesta haihdutettavassa vesimäärässä. Jos päällystekerroksen paksuus vaihtelee huomattavasti, päällysteen painoväriabsorptio muodostuu vastaavasti epätasaiseksi /12/. Päällysteen ohuempien kohtien kuivuttua märissä kohdissa sideaine vaeltaa voimakkaasti, jos käytetään rajua kuivatusta. Sideainejakauma vaikuttaa pintalujuuteen ja painoväriabsorption tasoon ja tasaisuuteen, mottlingin kannalta on myös tärkeätä sideainejakauma pinnan tasossa. Silmämääräisen arvostelun kannalta voimakkaimmin häiritsevä laikullisuus vastaa tummuusvaihtelun aallonpituusaluetta 2 - 7 mm /31/.

Märän pastan ja pohjarainan kontaktiajan ollessa hyvin lyhyt ja teräpaineen alhainen, ei absorptio enää ehdi vaikuttaa päällysteen muodostumiseen. Tällöin päällysteen karheus on täysin riippuvainen pohjarainan kar-

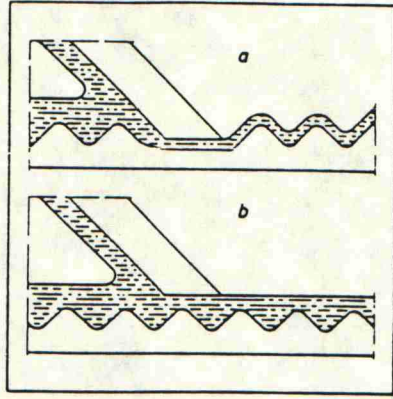
heudesta ja päällysteen määrästä. Lucianin et al. tekemissä tutkimuksissa /32/ alle 0.12 sekunnin kontaktiajoilla päällystemäärä riippuu ensisijaisesti pohjapaperin karheudesta, jolloin pohjapaperin absorptio ja pastan vesiretentio ovat toissijaisia tekijöitä. Tutkimustulosten mukaan päällystemäärä oli suoraan verrannollinen Bendtsen-karheuden logaritmiin, kuvan 4. osoittamalla tavalla. Nykyisillä koneen nopeuksilla päällysteen määrä on pääasiallisesti riippuvainen pohjarainan karheudesta ja absorption vaikutus on häviävän pieni hydrofobiliimatuilla papereilla /17,33/.



Kuva 4. Bendtsen karheuden logaritmin vaikutus päällystemäärään /32/.

Tehdasoloissa käytetään terän hallittavuuden tai päällystemäärän rajoittamisen takia melko suurta teräpainetta, jolloin pohjaraina puristuu kokoon ja karheustilavuus terän alla pienenee. Kokoonpuristuvuus määräytyy paperin viskoelastisista ominaisuuksista, paperia kuormittavasta voimasta ja sen kestoajasta, mutta myös rainaan siirtyvästä veden määrästä. Pohjarainan profiilimuoto palautuu terän jälkeen ja märkähäpasta jää vain osittain täyttämään karheustilavuutta kuten kuvassa 2. esitettiin /34/. Tästä johtuu, että alhaisilla päällystemäärillä teräpaineen ollessa korkea, päällyste seuraa paremmin pohjapaperin ääriviivoja, kuten kuvasta 5 käy ilmi /11/. Mitä pienempi täyttöaste, johon vaikuttaa myös kuivatuskutistuminen, sitä suurempi on kuivan päällysteen karheus. Pohjakartonkia

olisi päällystettävä niin pienellä teräpaineella kuin mahdollista terän muuttumatta epästabiiliksi. Tällöin pohjakartongin pintakerroksen kokoonpuristuminen on pieni ja täyttöaste suuri ja saavutetaan hyvä sileys /29/.



Kuva 5. Korkean (a) ja matalan (b) teräpaineen vaikutus pohjakartongin pinnan profiiliin ja saavutettavaan päällysteen rakenteeseen /11/.

Päällystyksessä paperiin tunkeutuu ensin päällystysseoksen vesi, sitten veteen liuenneet molekyylit, sitten lateksipartikkelit ja viimeiseksi pigmentit koon mukaan. Päällysteen kiinteiden komponenttien tunkeutuessa mahdollisimman vähän pohjarainaan päällystyksen jälkeinen sileys ja peittokyky paranevat /9/.

4.1.1. Karheuden pienentäminen

Pohjapaperin topografia- eli karheustasoon vaikuttavat raaka-aineiden ja märkäpuristuksen ohella myös ne- liömassa ja jauhatus. Karheutta aiheuttava viirakuvioi- tuma syntyy, kun märkäimulaatikolla käytetään suurta alipainetta rainan ollessa vielä liian märkä. Tällöin saattaa esiintyä myös kuitukarhentumaa /35/. Puris- tinosalla tulisi viimeisen nipin olla pintapuolelta huovaton, jolloin pinta silenisi. Kuivatusosalla siley- den parantajana voidaan käyttää jenkkisylinteriä.

Pohjapaperin lopullinen karheustaso säädetään kone- tai välikalanterilla. Pohjapaperin sileyden tulisi perustua tasaiseen formaatioon, sillä epätasaisen paperin kalan-

teroiminen saattaa muuttaa paperin absorptio-ominaisuuksia /26/.

Koska päällystemäärä riippuu ensisijassa karheustilavuudesta, olisi nippipaineen säätömahdollisuus laatutilanteen mukaan eduksi. Karheusprofiilia voidaan konekalanterilla säätää jäädyttämällä tai lämmittämällä telaa paikallisesti /25/.

Makrokarheus tasoittuu kokoonpuristuvuuden ansiosta, sen sijaan mikrokarheus (flokkit, kuituristeykset) on vaarallisempi /29/.

4.1.2. Karheuden mittausmenetelmiä

Paperin pinnan karheustilavuutta ei voida mitata päällystyshetkeä vastaavissa oloissa ja kuivan paperin staattinen karheusmittaus onkin kaukana niistä oloista, jotka vallitsevat terän alla päällystyshetkellä /20/. Vaikka staattinen karheusmittaus ei vastaakaan päällystyshetkellä terän alla vallitsevia oloja, on päällystemäärän riippuvuus Bendtsen-karheudesta silti suuntaa antava /14/. Karheuden määritysmenetelmistä todettiin parhaimmaksi Parker Print Surf pienen mittaushajonnan vuoksi. Bendtsen vaatii lisäksi huomattavasti suuremman määrän havaintoja /17/.

Sileysmittauksissa käytetään painetta, joka voi aiheuttaa etenkin kalanteroimattomissa näytteissä pohjapaperin huomattavan muodonmuutoksen. Yleisimmin käytetyt karheusmittaukset eivät anna luotettavaa tietoa liioin paperin normaalista olotilasta. Tähän tarkoitukseen Bristow on kehittänyt suulakelevityslaitteen, joka mittaa paperin luonnollista karheutta /7/.

4.2. Absorption vaikutus päällystyksessä

Absorboivana huokosverkkona pohjakartonki vaikuttaa nestefaasin poistamiseen pastasta ja vaikuttaa täten päällysteen rakenteen muodostumiseen ja ajettavuuteen /17/. Pohjakartongin tasaiset absorptio-ominaisuudet edesauttavat saamaan pintaominaisuuksiltaan tasaisen päällysteen, mutta tähän vaikuttavat myös pohjakartongin formaatio ja karheus epätasaisen päällystekerroksen kautta. Absorptiokyvyn tarkan säädön merkitys on vähentynyt ajonopeuksien kasvaessa. Samasta syystä myös pohjakartongin turpoamisen vaara on pienentynyt /36/.

Vesi imeytyy kartonkiin kahdella eri tavalla. Vesi etenee sekä kuitujen välisissä huokosissa että kuitujen sisäisissä kapillaareissa. Massaliimatuilla kartongeilla kuitujen välisten huokosten täyttyminen on hidasta, mutta kuitujen sisäisissä kapillaareissa vesi etenee lähes alkuperäisellä nopeudella /37/.

Päällystemäärä ei riipu viipymääjan absorptiosta ennen kaavinta lukuunottamatta huonon vedenpidätyskyvyn omaavia pastoja /30/. Absorptiota varten jää enintään kuivatusviipymää vastaava aika eli noin 0,2 s. Kuivaimessa päällysteen kuiva-ainepitoisuus kasvaa ja pigmenttihiukkaset lähestyvät toisiaan. Pastan jähmettyminen hidastaa nestefaasin absorboitumista pohjakartonkiin ja pienentää sideaineen vaellusta kuivatusvaiheen aikana /29/. Nopeilla koneilla kapillaariabsorptioajan lyhentäminen ei ole aiheuttanut päällystystuloksen huononemista, josta voidaan päätellä painepenetraation olevan määräävä tekijä /9/.

Pohjakartongin absorptio-ominaisuuksilla on merkitystä nesteen ja sen mukana kulkevan sideineen ja partikkeliin imeytymiselle pohjapaperiin, ja sitä kautta lujuus- ja painettavuusominaisuuksiin. Tämä johtuu päällysteen sisältämän veden aiheuttamasta kuitujen turpoamisesta ja plastisoinnista sekä kuitujen välisten sidosten

katkeamisesta, mitkä johtavat rainan paksuuden kasvuun ja pinnan karhenemiseen /11,38/.

On-machine-päällystyksessä kostea ja lämmin kartonkipinta imee runsaasti vettä pastasta. Mikäli pastassa tarjolla oleva vesimäärä on suuri, saattaa pohjarainan pintakerroksen kuitujen turpoaminen huonontaa päällystytulosta. Alhaisella päällystemäärätasolla päällyste ei kykene puupitoisilla laaduilla edes kompensoimaan kuitujen aiheuttamaa pohjarainan pinnan karhenemista. CMC:n vettä pidättävän ja liimaavan luonteen on arveltu tehostavan kuitujen turpoamista, koska se pitää veden paremmin kuitujen yhteydessä. Myös sen liimaavan vaikutuksen vuoksi turvonneiden kuitujen muutoksen on arveltu olevan pysyvämpää kuin pelkällä vedellä kostutuksessa /10/.

Päällystyskoneen nopeuden laskiessa kartongin absorptiokyvyn vaikutus päällystemäärään kasvaa. Nopean alkuimeytymisen aikana kartongin vialliset kohdat ja isoimmat huokokset täyttyvät nesteellä ennen kuin hitaampi kapillaarinen absorptio alkaa /38/.

Kartongin huokoisuuden kasvaessa sekä kapillaari- että paineabsorptio kasvavat. Kartongin päällystysvaiheen aikana painevyöhykkeessä paperin huokoisuus kokoonpuristettuna on ratkaiseva imeytymisnopeuteen nähden. Kokoonpuristaminen pienentää huokostilavuutta, joten suurten huokosten merkitys kasvaa paineen noustessa. Kartongin kosteuden lisääntyminen suurentaa huokoisuutta ja siirtää jakaumaa suuriin huokosiin päin, jolloin absorptio kasvaa. Myös rainan lämpötilan nousu kasvattaa pohjan absorptiota /39,40/.

Päällysteen absorptioaikaa voidaan lyhentää nostamalla koneen nopeutta tai lyhentämällä applikaattorin ja terän välissä olevaa matkaa /41/. Hyvään päällysteen peittävyYTEEN pyrittäessä olisi eduksi, että päällyste ei tunkeutuisi pohjapaperiin, vaan jäisi paperin pinnalle. Toisaalta taas tietty sideaineen imeytyminen

vahvistaa rajapintaa ja absorption on oltava niin suuri, että päällysteen ja pohjakartongin välille muodostuu tarpeeksi vahva sidos /9,25/.

Pohjakartongin absorption tasaisuusvaatimus on hyvin merkittävä, koska absorptioerojen vuoksi päällystekeros saattaa köyhtyä sideaineesta. Tällainen vaihtelu sideainepitoisuudessa johtaa usein päällystetyn pinnan epätasaisen absorption kautta painoväriin tummuuden vastaavaan epätasaisuuteen eli mottlingiin /9,38/.

Pohjakartongin poikkisuunnan paksuusprofiilin epätasaisuus voi aiheuttaa epätasaisuutta myöskin lopputuotteen ominaisuuksissa. Paperikoneella valmistetun paperin kuivumiskutistuma on aina osittain tai kokonaan estetty kuivausryhmien välisillä nopeuseroilla. Kun ohuimmat osat rainasta kuivuvat nopeammin kuin muu raina, paperiin syntyy epätasainen, jähmettynyt venymä ja epätasainen kosteusprofiili. Koska paperin absorptiokyky on kosteudesta riippuvainen, aiheuttaa tämä epätasaista pastaseoksen imeytymistä pohjaan. Yleensä pohjapaperi ajetaan hyvin kuivaksi, joten kosteusvaihtelut tasoittuvat, mutta pohjaan jää epätasainen, jähmettynyt venymä, joka voi näkyä mittapysyvyydessä paperin uudelleen kastuessa /39/.

Hyvin tärkeä pohjapaperin ominaisuus on pohjan formaatio. Kun teräpäällystysyksiköllä päällystetään formaatioltaan heikkolaatuista pohjapaperia, päällystemäärä pyrkii vaihtelevaan pohjapaperin flokkisuutta ja paksuusvaihteluja myötäillen. Kalanteroinnissa flokin kohta tulee tiheämmäksi, mikä aiheuttaa absorptiovaihteluita /35/.

4.2.1. Absorption vähentäminen

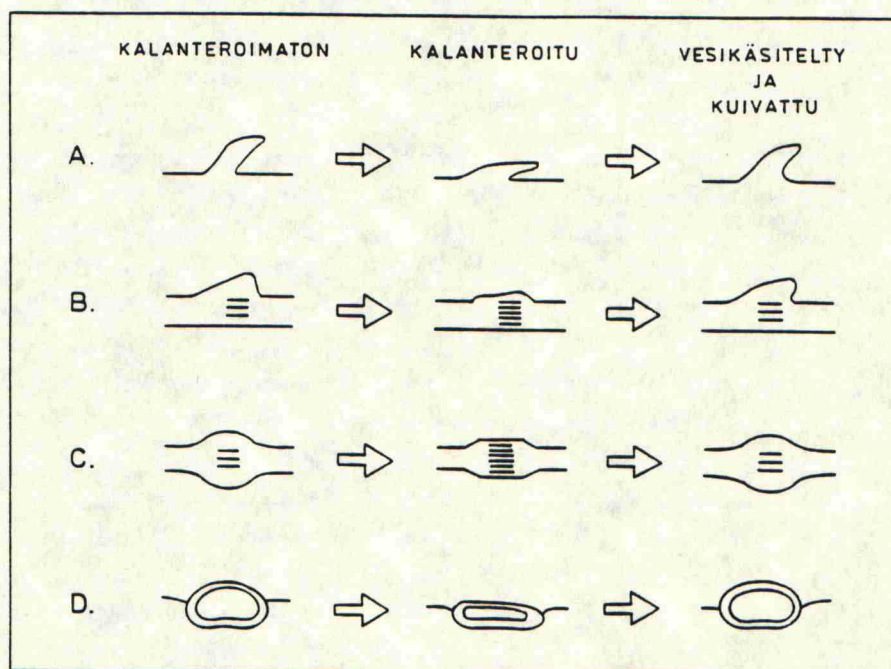
Nesteabsorptioon vaikuttavia tekijöitä /9/:

- pohjapaperi: huokosrakenne, karheus ja pintakemialliset ominaisuudet
- pastan muuttajat: viskositeetti, kuiva-ainepitoisuus ja pintaenergia
- päällystysmuuttajat: koneen nopeus, applikointi, päällystemäärä, aikaviiveet eri vaiheiden välillä ja kuivatus

Märän päällysteen liian nopeaa vedenluovutuskykyä hidastetaan lisäämällä seokseen vettä pidättäviä aineita sekä muuttamalla pohjapaperin veden affiniteettia liimaamalla. Koneen ominaisuuksien vaikutusta absorptioon on käsitelty kappaleessa 3. sekä pastamuuttajia kappaleessa 5.

Voelkerin tutkimusten mukaan /38,42/ pohjapaperin tiivistäminen kuitusidoksia lisäämällä, esimerkiksi jauhatuksella tai märkäpuristuksella, vähensi huokoisuutta ja pienensi siten absorptiota voimakkaammin kuin pelkkä rakenteen tiivistäminen kalanteroinnilla. Sellun jauhatus pienentää huokoskokojakaumaa ja samalla pienet kapillaarit korostuvat /9/. Täyteaineen lisäys vaikuttaa päinvastoin nostoen absorptiota, koska tämä erottaa kuidut toisistaan ja avaa pinnan /39/. Tehtyjen kokeiden mukaan /43/ kalanteroidun paperin absorptiokyky oli selvästi pienempi kuin kalanteroimattoman paperin absorptiokyky. Kalanterointi pienensi huomattavasti karheustilavuutta, mutta absorptiokäyrän muoto säilyi ennallaan. Kalanteroidulle pohjapaperille ei muodostunut selvää laikullisuutta vaikka kuivatusolot olivat epäedulliset. Kalanteroitaessa paperin tiheys- ja absorptiokykyerot kasvoivat aiheuttaen pientä laikullisuutta, mikä oli kuitenkin paljon lievempää ja erityyppistä kuin päällysteen paksuuserojen aiheuttama laikullisuus.

Kalanteroidun pinnan laadun heikkeneminen vesikäsitte-
lyn ja sitä seuraavan kuivatuksen jälkeen voidaan
selittää muistiefektillä eli arkin pinta ja myös sisäi-
nen rakenne pyrkii saavuttamaan takaisin ennen kalante-
rointia olleen tilan, josta on esimerkkejä kuvassa 6.
Vesikäsitteily laukaisee sisäiset jännitykset, jotka
ovat syntyneet kalanteroinnin vaikutuksesta. Yksittäi-
siin kuituihin ei kuitenkaan jää varsinaista turpoamaa
kuivatuksen jälkeen, vaikka kuidut ovatkin turvonneita
vesikäsitteilyssä /37/.



Kuva 6. Vesikäsitteilyn vaikutus kalanteroidussa kuitu-
pinnassa /37/.

Paperin yleinen huokoisuustaso riippuu raaka-ainesuh-
teista ja niiden hienoudesta sekä materiaalijakaumasta.
Myös märkäpuristuksella vaikutetaan huokosjakaumaan
muuttamalla rainan z-suuntaista tiheysjakaumaa. Huokos-
rakenteella on merkitystä ennen kaikkea päällysteen
vesifaasin imeytymisessä toisin sanoen kapillaaripenet-
raatiossa, jota voidaan säädellä myös pohjapaperin
hydrofobiliimuksella /25/.

4.2.2. Absorption mittaussmenetelmiä

Paperin absorptio-ominaisuuksien määrittäminen on varsin vaikeaa, koska käytännön mittaussmenetelmä painottavat eri seikkoja, esimerkiksi ilmavirtaukseen perustuva menetelmä painottaa voimakkaasti suuria huokosia. Ongelmaksi tulee erottaa pohjapaperin karheus sen absorptiosta, koska yleensä karhealla paperilla on suuri absorptiokyky tai ainakin suuri karheustilavuus /9/.

Puupitoisilla papereilla Cobb-testi ei ole mielekäs, mutta puuvapaalla massaliimatulla paperilaadulla voidaan käyttää vesiabsorptiota karkeaan absorption arvioimiseen. Lyhyen aikaviiveen omaava Cobb-Unger-testi on myös käyttökelpoinen, mutta sillä on tiettyjä haittapuolia testiaineen nähden.

Pohjapaperin absorption määrittämiseen käytettyjä mittaussmenetelmiä ovat: Cobb, Unger, IGT Stain Length, Hull-painoväriabsorptio ja STFI-pikavesiabsorptiomittaus. Pohjapaperin karheustermiä ei voida milloinkaan jättää huomioon ottamatta absorptiomekanismeja tutkitessa. Pohjapaperin absorptiota määritettäessä tulisi käyttää rinnakkain eri mittaussmenetelmiä, koska jokin mittaussmenetelmä yksinään voi antaa absorptiosta harhaanjohtavan kuvan /9/.

4.3. Kapillaari- ja painepenetraation merkitys päällystyksessä

Tärkein vuorovaikutus päällystysseoksen ollessa kosketuksessa pohjapaperin kanssa päällystysvaiheen aikana on seoksen nestefaasin tunkeutuminen pohjaan. Päällystysprosessin aikana päällystysseoksen absorptioon pohjarainaan vaikuttavat kapillaaripenetraatio ja painepenetraatio. Pohjapaperin tullessa kosketuksiin päällystysseoksen kanssa kuluu paperin kastumiseen

aikaa 0,01 - 0,05 sekuntia ennenkuin imeytyminen pape-
riin alkaa. Kastumisen jälkeen tapahtuu nopea alkuab-
sorptio isoimpiin huokosiin, jonka jälkeen imeytymisno-
peus selvästi laskee. Kolmantena vaiheena on varsinai-
nen kapillaarinen absorptio /41/.

Pastan nestemäinen faasi kostuttaa aluksi rainan pin-
taa, minkä jälkeen neste alkaa imeytyä rainan huoko-
siin. Pohjarainan hydrofiilisuudesta riippuu miten
pitkä on kostutukseen tarvittava kontaktiaika. Suurem-
milla yli 300 m/min nopeuksilla ei ehdi tapahtua voima-
kasta kapillaariabsorptiota massaliimattuun rainaan.
Tällöin onkin tärkeää, että rainan pinta kostuu täydellisesti
ennen kuivatusta mahdollistaen rainan ja päällysteen
välisen sitoutumislujuuden kehittymisen /29/.

Sekä paine- että kapillaaripenetraatio ovat voimak-
kaasti riippuvaisia huokosten muodosta ja ne tapahtuvat
yleensä rinnan, mikäli pohjakartongin ja päällysyty-
pastan kontaktiaika on riittävän pitkä, että kapillaari-
absorptiota ehtii tapahtua /38/. Kapillaaripenetraa-
tio tapahtuu ilman ulkoisen voiman vaikutusta pasta-
kerroksesta, joka on lähinnä pohjakartongin pintaa ja
se riippuu huokosrakenteen lisäksi myös imeytyvän nes-
teen ja kapillaarin seinämän kemiallisesta luonteesta.
Se on hallitseva applikoinnin ja terän välisellä alu-
eella. Kostutuksen jälkeinen kapillaariabsorptio jatkuu
niin kauan kuin liikkuvaa nestefaasia on tarjolla.
Kapillaarikuljetus johtuu dynaamisesta kapil-
laaripaineesta /44/. Klassisen Young-Laplacen yhtälön
mukaan kapillaaripaine on negatiivinen kun kontaktikul-
ma nesteen ja kiinteän aineen välillä on korkeampi kuin
90°. Eli tällaisessa tapauksessa kapillaaripaine vas-
tustaa nesteen siirtymistä huokosiin /40/.

Lucas-Washburnin kaava kuvaa tunkeutumissyvyyttä /17/.
Pastakerrokseen kohdistuessa ulkoinen voima nosto- ja
vastatelan nipissä sekä terän alla syntyy pohjakarton-
kiin painepenetraatio. Sen riippuvuus kapillaarin
säteestä on voimakkaampi kuin kapillaaripenetraation

/41/. Painepenetraatiota kokoonpuristumattomalla materiaalilla kuvaa Darcyn laki. Tästä voidaan johtaa Hagen-Poiseullen yhtälö, ja näistä saadaan edelleen Kozency-Carmanin yhtälö, joka kuvaa suotautumisvastuksen ja huokoisuuden välistä yhteyttä /9,17/. Yhtälöt on esitetty liitteessä 1.

Kapillaaripenetraatio määräytyy pintakemiallisten voimien perusteella, mikä tarkoittaa sitä, että pastan komponentit penetroituvat eri nopeudella ja eri syvyyteen eli tilanne on päinvastainen painepenetraatioon verrattuna. Paperin kemiallisesta luonteesta riippuen kapillaaripenetraatiolla on tietty aikaviive ennen kuin kapillaari-imu alkaa vaikuttaa, mutta painepenetraatiolla ei ole aikaviivettä.

Kapillaarivoimiin vaikuttaa pinnan karheus, pintakemia ja pinnan huokoisuus. Pinnan karheus määrää veden siirtymisen kustutuksessa. On ilmeistä, että karheus vaatii tietyn määrän vettä ennenkuin paperiin voi tapahtua penetraatiota. Nesteiden pintajännitys ja dynaaminen kontaktikulma kuituseinämää vastaan määräävät kapillaaripaineen. Veden siirtyminen nopeutuu kosketuskulman pienentyessä pinnan pH:n noustessa ja pintaenergian kasvaessa, jolloin raina muuttuu hydrofiiliseksi /44,45/.

Kapillaarikuljetusta vastustavat nestefaasin virtaushäviöt, jotka ovat suoraan verrannollisia kuljettuun matkaan ja kuljetusnopeuteen. Nesteiden viskositeetin nousu hidastaa nestesorptiota nollapaineessa, mutta erot eivät ole yhtä suuria kuin virtausvastuksen muuttamisesta saattaisi päätellä vaan erot perustunevatkin lähinnä dynaamisen kontaktikulman muutoksiin. Veden pintajännitystä alentavat aineet esim. vaahdonestoaineet kasvattavat tunkeutumisnopeutta. Samalla myös paperin kyllästymistilavuus laskee voimakkaasti, mikä johtuneen veden aiheuttaman kuitumatriisin laajentumisen vähentymisestä. Nesteiden pintajännitys ei kuitenkaan ole

niin voimakas, että se määräisi veden penetroitumisen päällystysprosessissa /23,40/.

Veden lämpötilan nousun myötä kohonnut veden osapaine nopeuttaa kapillaarikuljetuksen nopeuden määräävää absorptiomekanismia. Korkeissa lämpötiloissa suuri osa vedestä kulkeutuu myös höyryfaasina diffuusion avulla. Ulkoisen paineen ollessa vähäinen, perustuu veden kuljetus diffuusioon dynaamisen kapillaaripaineen ohella. Diffuusio on riippumaton kuitujen ja vesifaasin välisestä pintakemiallisesta vuorovaikutuksesta, joten hydrofobisissa ja erittäin tiheissä paperilaaduissa diffuusio voi määrätä absorboituneen veden määrän /40/. Diffuusio on voimakkaasti lämpötilasta riippuvainen, mutta huoneenlämpötilassa se on suhteellisen hidas kuljetusmekanismi.

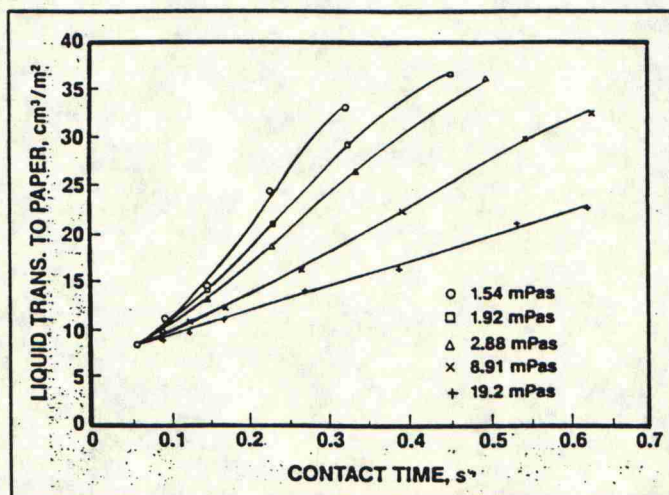
Paperin kosteus nopeuttaa kapillaarikuljetusta alentamalla veden ja kuidun välistä kontaktikulmaa, joten hydrofiillisellä paperilla veden tunkeutuminen nopeutuu. Kosteuden noustessa diffuusiokuljetus puolestaan hidastuu, joten hydrofobisissa paperissa kosteus vähentää imeytymisnopeutta /23/. Kalanteroinnin vaikutus paperin vesisorptio-ominaisuuksiin riippuu etupäässä huokosten halkaisijoiden laskusta, pinnan karheudesta ja huokosten lukumäärästä. Kapillaaripenetratiota kalanterointi jonkin verran hidastaa. Sen sijaan painepenetratio hidastuu paljon voimakkaammin kalanteroinnin edistyessä /40/.

Päällystekerroksessa paineen lasku on yleensä paljon voimakkaampi kuin pohjapaperissa johtuen pienemmistä huokosista. Nesteiden viskositeetin kasvaessa esim. lämpötilan laskiessa virtausvastus nousee, jolloin paineen alaisena vesisorptio pienenee /23,38,40,45/.

Ulkoisen paineen alla veden siirtyminen määräytyy kapillaaripaineen ja ulkoisen paineen summasta. Nämä voimat ovat riippumattomia toisistaan, mikä johtaa siihen, että ulkoisen paineen noustessa diffuusiokulje-

tuksen merkitys on vähäinen ja kapillaarivoimienkin suhteellinen merkitys vähenee. Painepenetraation osuus korostuu entisestään pastan kuiva-ainepitoisuuden noustessa /44/.

Ulkoisen nestepaine kasvattaa voimakkaasti veden penetraationopeutta ja virtaushäviöiden osuus korostuu, jolloin viskositeetin ja huokosverkoston rakenteen merkitys kasvaa. Painepenetraatio määräytyykin tunkeutuvan nestefaasin viskositeetin ja paperin rakenteen mukaan (mittaustuloksia on esitetty kuvassa 7.), mutta myös pigmentin pakkautuneisuuden ja kiinteitten partikkeleiden hydrofiilisuuden perusteella. Painepenetraatiota tapahtuu terän alla ja nostotelan nipissä. Hydrodynaamista painetta voidaan pienentää kasvattamalla telavälystä, jolloin painokiilto ja painojäljen tasaisuus ovat hyviä. Suuremmilla ajonopeuksilla muodostuu paineiskun vaikutuksesta suodinkerros, joka estää painepenetraation kasvamista /8,29,40,44/.



Kuva 7. Viskositeetin vaikutus painepenetraatioon LWC-pohjapaperilla 0.5 atm paineessa /40/.

4.4. Liimauksen vaikutus päällystyksessä

Pintaliimamatonta pohjakartonkia päällystettäessä pastan sideaine imeytyy helposti liian syvälle ja imeytymisessä saattaa olla paikallisia eroja, jolloin päällysteen pinnassa painoväriin absorptio on suurta ja se saattaa vaihdella paikallisesti. Päällysteen rakenne jää liian avoimeksi ja karheaksi sekä peittävyys heikoksi, jolloin painettavuus kärsii /29,46/. Toisaalta päällysteen pintalujuus on liimaamattomilla papereilla suurempi, koska pastan sideaine tunkeutuu nopeammin ja syvemmälle kuitujen väliin vahvistaen kriittistä kerrosta.

Hydrofobisella massaliimauksella voidaan pienentää nesteen imeytymistä paperiin suurentamalla imeytyvän nesteen ja kapillaarin seinämän välistä kosketuskulmaa. Samalla kuitenkin rainan rakenne tulee avonaisemmaksi helpottaen nesteen tunkeutumista paineen alla /44/. Pinnan hydrofobiointiin on kiinnitetty huomiota etenkin hitailla koneilla, jolloin on usein päädytty lisäksi pintaliimaukseen /12/.

Hydrofobiliimaamattomalla pohjapaperilla ei ole kastumisviivettä, vaan kuitujen kastuminen alkaa välittömästi pastan applikoinnissa. Myös veden poistuminen on nopeampaa liimaamattomilla papereilla. Hydrofobiliimaatuilla taas on tietty kastumisviive, joka on noin 0.12 sekuntia /47/. Se estää veden tunkeutumisen paperiin kemiallisesti, joten sen vaikutus on merkittävä myös myöhemmin. Huokosten seinämät tulevat vedenpitäviksi, joka aikaansaa penetraation hidastumisen /46/.

Rainaan siirtyvä vesimäärä tulisi rajoittaa myös sen aiheuttaman turpoamisen ja siitä johtuvan vetolujuuden heikkenemisen estämiseksi. Päällysteen sileys ja kiilto saattavat kärsiä etenkin puupitoisilla laaduilla pohjakartongin turpoamisen takia liimausastetta vähennettäessä. Päällysteen huokoisuus ja kuohkeus kasvavat

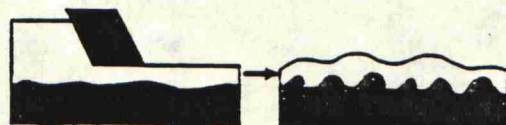
mm. K&N -menetelmällä määritettynä liimausasteen las-
kiessa, mutta absorptio-ominaisuudet on kuitenkin
edullisempaa optimoida muilla keinoilla kuin pohjakar-
tongin imukykyä säätämällä /19,29/.

Pohjarainan turpoamisella on vaikutusta päällysteen
lopulliseen sileyteen vain pienillä päällystysnopeuk-
silla sekä alhaisella pintaliimaustasolla. Kuitujen
turpoamisesta johtuva päällystetyn pinnan karheneminen
on vähäistä puuvapailla laaduilla. Jos turpoaminen on
voimakasta, on edullisempaa antaa herkän pohjarainan
turvota ennen teräkaavinta /19,22,29/.

Kuten kuvasta 8. huomataan, ei rainan turpoaminen ennen
päällystystä ole kovin vaarallista, koska päällyste
peittää karhenneen pinnan. Sen sijaan päällystämis-
prosessin jälkeen turvonnut raina aiheuttaa päällyste-
tyn pinnan karhenemista. Kuivausvaiheessa myös rainan
kutistuminen olisi minimoitava /48/.



FIBER SWELLING - BEFORE BLADE



FIBER SWELLING - AFTER BLADE

Kuva 8. Rainan turpoamisen vaikutus päällystetyn pinnan
karheuteen /45/.

Hydrofobimassaliimauksella aikaansaatu absorption
väheneminen oli edullista etenkin sellupapereilla
lopputuotteen laadun kannalta. Massaliimauksella voi-
daan vähentää merkittävästi pinnan karhenemista, mikäli
absorptioaika on lyhyt tai tarjottu vesi ei ehdi imey-
tyä pinnan sisään. Massaliimatulla hydrofobisella
kartongilla kapillaarien koko on tärkeä tekijä päällys-
teen peittävyyyden kannalta, jolloin pintaliiman tulee
täyttää huokosia. Parantamalla liimauksella päällysteen

peittävyyttä, paranevat samalla optiset ominaisuudet ja painatus ominaisuudet /46/.

Pastan ja nestefaasin liiallinen absorptio pohjakartoonkiin ei siis ole toivottavaa, mutta absorptiota tarvitaan kuitenkin päällysteen ja rainan yhteyden muodostamiseen sekä pastan jähmettymisen aikaansaamiseen.

5. PÄÄLLYSTYKSESSÄ VAIKUTTAVAT PASTAN OMINAISUUDET

5.1. Vesiretentio

Paperin pinnalla oleva märkä pastakerros ei luovuta nestettään niin nopeasti, että nestepenetraatio olisi puhtaasti pohjapaperista johtuva ilmiö, vaan päällystekerros saa heti tietyn kuiva-ainegradientin. Muodostuneen kerroksen rakenne ja vesifaasin virtausominaisuudet määräävät tunkeutumisenopeuden hidastumisen ja siis myös pastan suhteellisen vesiretention. Pastan muuttujilla - kuiva-ainepitoisuudella, viskositeetilla, pigmentin laadulla ja kokojakaumalla sekä sideainetyypillä - on usein suurempi vaikutus nestefaasin penetraatioon kuin pohjapaperin tutkituilla muuttujilla: neliömassalla, liimausasteella ja huokoisuudella. Pastamodifioinnin vaikutukset ovat usein niin voimakkaita, että pohjapaperin absorptiotasojen vaihtelu on suhteellisesti pienempi /9/.

Liian nopea kuiva-ainepitoisuuden nousu ennen terää nostaa viskositeettia terän alla, mikä heikentää ajettavuutta ja päällystemäärän säätöä. Päällystysseoksen avulla pyritään rajoittamaan nesteen tunkeutumista pohjarainaan /9/. Pastan vesiretentio eli vedenpidätyskyky pyrkii vastustamaan liian nopeaa veden poistumista pastasta. Mitä korkeampi vesiretentio sitä pienempi nestemäärä poistuu pastasta päällystysvaiheessa ja sitä parempi päällystysprosessin ajettavuus, ja saavutetaan suurempi päällystemäärä. Liian korkea vesiretentio voi aiheuttaa ongelmia heikentämällä päällysteen sitoutumista pohjapaperiin, jolloin päällysteestä voi irrota palasia.

Vedenpidätyskykyä voidaan tehostaa valitsemalla hydrofiilinen, levymäinen ja hienorakenteinen pigmentti. Sideaineista taas luonnollisilla vesiliukoisilla sideaineilla on parempi vesiretentio kuin synteettisillä sideaineilla /41/. On huomattava, että pastan vesire-

tention aiheuttama nesteen liikkumista hidastava ominaisuus vaikuttaa koko päällystysprosessin ajan.

5.2. Jähmettymiskuiiva-ainepitoisuus

Pastan kiintoainepitoisuus pyritään nostamaan mahdollisimman korkeaksi sekä laatu- että kustannussyistä. Riittävän hyvä vedenpidätyskyky on pastan ajettavuuden perusedellytys ja sen osalta pyritään ainoastaan toimimaan luotettavalla tasolla mahdollisimman vähäisellä lisäainemäärällä. Jähmettymispisteeksi kutsutaan kriittistä kuiva-ainepitoisuutta, jossa sideaineen pinnansuuntainen vaellus estyy /49/. Jähmettymispiste saavutetaan, kun sideaineen migraatio päällysteen pinnalle on kaikkialla lakannut ja kiinteitten komponenttien liikkuminen on lakannut /31/. Jähmettymispisteessä vapaasti pinnasta haihtuva vesi loppuu ja vedenimeytyminen pohjarainaan lakkaa. Haihtumisvyöhyke siirtyy tällöin päällysteen huokosiin, josta seuraa haihtumisnopeuden pieneneminen.

Jähmettymissakeus on päällystysseoksen ominaisuus, mutta paikka missä se saavutetaan riippuu pohjapaperin absorptiosta /50,51/. Kaikilla pastoilla on kriittinen kuiva-ainepitoisuus, jossa pieni ylimääräinen vedenhäviö johtaa nopeaan pastan jähmettymiseen. Pastan kuiva-ainepitoisuuden on siis oltava terän alla tarpeeksi suuri, jotta sen ja jähmettymiskuiiva-ainepitoisuuden välinen ero olisi mahdollisimman pieni /34/. Missään tapauksessa päällyste ei saisi jähmettyä ennen terää tai terän alla /17/.

Päällystysprosessin ajettavuuden kannalta tärkeä tekijä on sakeusero pastan applikoinnin ja jähmettymisen välillä. Mahdollisimman alhainen jähmettymiskuiva-ainepitoisuus vähentää pastan ja veden liiallista imeytymistä pohjarainaan sekä rainan pintakuitujen turpoamista /17/.

Yleensä pyritään siihen, että pasta jähmettyisi mahdollisimman bulkkisena ja mahdollisimman nopeasti teräänostelun jälkeen /28,34,49/. Teräpäällälystyksessä seoksen kuiva-ainepitoisuus pyritään pitämään mahdollisimman korkeana, jopa yli 65 %. Teräpäällälystys sallii myös varsin korkean päällälystysseoksen viskositeetin, mutta seoksen virtausominaisuuksien tulee soveltua korkeisiin leikkausnopeuksiin. Aikaisella kuivatuksella voidaan välttää sideaineen liian syvä ja epätasainen imeytymisen pohjakartonkiin /29/. Nopean jähmettymisen ansiosta päällälysteen sideainepitoisuus pysyy mahdollisimman tasaisena, eikä pohjarainan vaihteleva absorptiokyky aiheuta painojäljen mottling-ilmiötä. Jähmettymisviive on lyhyt, kun päällälysteen sallittu kuiva-ainepitoisuus terän kohdalla on mahdollisimman korkea. Terän jälkeen märkä päällälyste on hyvin tasaista, mutta päällälysteen kutistuminen pastan kuivuessa huonontaa profiilin tasaisuutta ja saattaa aiheuttaa halkeamia päällälysteessä /17,52/. Korkea kuiva-ainepitoisuus vähentää myös märän päällälysteen kutistumista.

Mitä korkeampi jähmettymispiste, sitä kauemmin on kuivaimessa käytettävä varovaista haihdutusta. Jähmettymispisteen siirtyminen suurtehokuivaimen saattaa alentaa voimakkaasti K&N-tasoa, jolloin mottling lisääntyy. Mikäli jähmettymispiste sijaitsee pientehokuivaimen loppuosassa, saattaa pienikin prosessin tilasuureiden muutos johtaa huomattavaan K&N-arvon alenemiseen. Päällälystemäärän pienimittakaavainen neliömassavaihtelu aiheuttaa silloin helposti voimakasta laikullisuutta.

Hyvään peittokykyyn pyrittäessä on tärkeitä, että märkää päällälystettä ei tunkeudu pohjapaperin huokosiin kovin paljon. Pastan peittokyky paranee, kun jähmettymispistettä alennetaan. Tarkemmin sanottuna, kun pastan sivelykuiva-aineen ja jähmettymissakeuden välinen aika lyhenee peittokyky paranee. Alentamalla pastan jähmettymissakeutta pintakemiallisin keinoin voidaan syntyvän päällälystekerroksen huokoisuutta ja painetta-

vuutta parantaa /9,10,51, 52,53/. Painettavuutta ajatellen jähmettymiskuiiva-ainepitoisuuden tulisi olla mahdollisimman lähellä applikointi kuivaainepitoisuutta, jolloin saavutetaan sileä, huokoinen ja bulkkinen päällyste, jossa komponenttien jakauma on tasainen vähäisen vaelluksen ansiosta /41,53/.

Hyvään peittokykyyn pyrittäessä on myös toivottavaa, että pigmentit pakkautuvat löyhästi, jolloin tuloksen on bulkkinen päällystekerros. Korkea kuiva-ainepitoisuus estää pigmenttiagglomeraattien muodostumisen, mikä merkitsee myös absorption nopeutumista. Nopean absorption johdosta pigmenttihiukkasten pakkautumiseen jää vähemmän aikaa. Kun päällysteen huokoisuus kasvaa, niin toisaalta sen lujuus heikkenee merkittävästi /53/.

6. PÄÄLLYSTYSTEEN ERI KOMPONENTTIENTEN VAIKUTUS PÄÄLLYSTYSTULOKSEEN

Lopputuotteen laatuvaatimukset ja käytettävä päällystysmenetelmä määräävät varsin pitkälle pigmenttien ja sideaineiden valinnan ja kuiva-ainepitoisuuden. Pigmentti ja sideaine muodostavat oleellisen osan päällystysseoksen hinnasta. Seoksessa käytettävien lisäaineiden tarve selviää yleensä mainittujen pääkomponenttien valitsemisen jälkeen. Päällystysseoksen komponenttien keskinäinen suhde vaihtelee laajoissa rajoissa lopputuotteen ja päällystysmenetelmän mukaan, mutta pigmentin osuus ja merkitys on määräävä.

6.1. Pigmentin vaikutus päällysteen laatuun

Käytetyt pigmentit vaikuttavat päällystetyn paperin vaaleuteen ja sävyyn. Muita pigmenttityypillä säädettäviä ominaisuuksia ovat kiilto, painoväriin kuivumisnopeus ja asettuminen sekä pinnan liukkaus /54,55/.

6.1.1. Pigmentin fysikaalisten ominaisuuksien vaikutus päällysteeseen

Päällystyksessä käytetyn pigmentin tyyppi ja laatu sekä pigmenttipartikkelin koko, muoto ja partikkelikojakauma vaikuttavat syntyvän päällysterakenteen ominaisuuksiin sekä pinnan laatuun. Pigmentin koko ja muoto vaikuttavat pigmentin pakkautumisominaisuuksiin ja siten päällystekerroksen rakenteeseen sekä pintaominaisuuksiin. Optinen käyttäytyminen määräytyy päällysteen valonsironta- ja valonabsorptio-ominaisuuksien mukaan /28,44,56,57/.

Päällystysseoksessa käytetyn päällystyspigmentin fysikaalisilla ominaisuuksilla on merkittävä vaikutus painoväriinabsorption nopeuteen. Pigmentin hiukkaskokoa pienentämällä valonsirontakerroin ja opasiteetti kasva-

vat. Samalla kapillaarien lukumäärä kasvaa ja halkaisija pienenee /6/. Myös huokosmäärä ja painoväriin absorptiokyky kasvavat. Pienet partikkelit adsorboivat myös voimakkaammin vettä, jolloin pastan viskositeettitaso kasvaa /10,44/.

Pigmentin hiukkaskoon pienentyessä vaaleus ja kalanteroitu kiilto kasvavat, mutta hiukkaskokoa rajoittavana tekijänä on suurentunut sideainetarve. Selityksenä painoväriin absorption nousussa on päällystekerroksen mikrokärheuden eli päällystyspigmentin dimensioiden luokkaa olevan kärheuden hallitseva rooli painoväriin absorpti nopeudessa /58/. Hienojakoisesta pigmentistä ja suuresta sideainepitoisuudesta on etua lakkauksessa. Lakka jää kartongin pintaan ja muodostaa tasaisen kiiltävän kalvon /6/.

Pohjapaperin pinta muodostuu kuiduista, täyteaineista ja kuituagglomeraateista sekä niiden välisistä huokosista. Mikrokärheutta edustavat kuitujen väliset huokokset, jotka ovat halkaisijaltaan noin 2 - 25 μm /53/. Pinnan makrokärheus muodostuu kuituflokkien välisistä alueista, joiden dimensiot ovat 25 - 3000 μm :n suuruusluokkaa. Yleisimpien päällystyspigmenttien partikkelikoko on keskimäärin noin 1 μm ja hyvän peittokyvyn saavuttamiseksi pastan komponenttien tunkeutuminen pohjapaperin huokosiin täytyy estää. Tähän päästään vaikuttamalla pigmentti- ja sideainenpartikkelien pakkautumiseen sekä pienentämällä huokosten kokoa /44,53/.

Päällysteen valonabsorptio-ominaisuudet määräytyvät suoraan käytettyjen raaka-aineiden tyyppin perusteella eikä niihin voi vaikuttaa päällysteen rakenteella. Sen sijaan valonsirontakykyyn vaikuttavat mm. pigmentin taitekerroin, koko, kokojakauma, muoto ja muotojakauma sekä sideaineen määrä ja tyyppi. Löyhän pakkautumisen, kokoonpuristuvuuden ja hyvän valonsirontakyvyn aikaansaamiseksi samanmuotoisten pigmenttien partikkelikokojakuman tulee olla mahdollisimman kapea. Käytettäessä

karkeata, kapean hiukkaskokojakauman omaavaa pigmenttiä, saavutettiin Brociner et al. /59/ tekemissä kokeissa haluttu painotulos alhaisemmalla päällystemäärällä, mutta samalla kiilto oli heikohko. Myös pigmentin alhainen muototekijä (halkaisija/paksuus) suurentaa karheutta ja heikentää kiiltoa /44,53/. Päällysteen bulkkisuutta voidaan lisätä erikoispigmenteillä, esimerkiksi kalsinoidulla kaoliinilla, jolla on myös edullinen vaikutus veden poistumiseen pastasta ja kalanteroitavuuteen /51,60/.

Hagemeyerin tekemissä tutkimuksissa /56,61/ pallomais-
ten tai neulamaisten partikkeleiden lisääminen kaoliinipastaan aiheutti hajaannusta levykerroksissa kasvattaen huokoisuutta ja valonsirontakerrointa ja peittävyys parani. Pigmentit pakkautuivat löyhimmin, kun pallomaisia tai neulamaisia partikkeleita lisättiin levymäisten joukkoon suhteessa 20:80.

Pastan flokkaamisella pyritään saamaan päällysteen rakenne huokoiseksi ja estetään pastakomponenttien penetraatio pohjapaperin huokosiin. Flokkulointi parantaa päällysteen peittävyyttä ja huokoisuutta, mutta laskee samalla kiiltoa /52/. Flokkaaminen saadaan aikaan pastan luovuttaessa nopeasti jähmepisteen saavuttamiseksi tarvittavan vesimäärän. Tämän vesimäärän tulisi olla mahdollisimman pieni, että saavutettaisiin huokoinen päällysteen rakenne ja ettei vesi aiheuttaisi paperiin imeytyessään sideaineen vaeltamista tai pinnan karhenemista /53/.

Päällysteen vaaleus ja opasiteetti määntyvät pääasiallisesti pigmentin ominaisuuksien mukaan. Geometriset ja pintakemialliset tekijät vaikuttavat pigmentin pakkautumiseen ja lopulliseen tilavuuskonsentraatioon päällysteessä. Pigmenttipartikkeleiden dimensiot ja päällysteen ilman täyttämien huokosten koko määräävät päällysteen valonsirontaominaisuudet ja optisen peitto-
kyvyn. Ilmahuokosten optimaalinen koko valonsironnan kannalta on puolet näkyvän valon aallonpituudesta eli

noin 0.2 - 0.35 μm , mikä saavutetaan pigmentin koon ollessa 0.5 - 0.7 μm . Päällystyspigmentin taitekertoimen suurentaminen kasvattaa pigmentin ja sen väliaineen taitekerroineroa, jolloin päällysteen valonsirontakyky kasvaa. Taitekertoimen kasvaessa pigmentin optimaalinen hiukkaskoko pienenee /5,19,53/.

6.1.2. Eri pigmenttien ominaisuuksia

Päällystyksessä yleisimmin käytetty pigmentti on kaoliini, jonka koko, kuusikulmainen ja levymäinen muoto sekä inertti kemiallinen luonne ovat luoneet edellytykset parantaa sen avulla painettavuutta /62/. Koostumukseltaan kaoliini on kidevedellinen alumiinisilikaatti ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Levymäisiä pigmenttejä, kuten kaoliinia ja talkkia käytettäessä, huokostilavuus on pieni, koska ne ovat pakkautuneet tiukasti limittäin ja päällekkäin. Kaoliinihiukkasten orientaatiota lisättäessä pakkautuvuustiheys, peittokyky ja kiilto kasvavat, sekä valonsirontakerroin, huokoisuus ja sideainetarve pienenevät /6/.

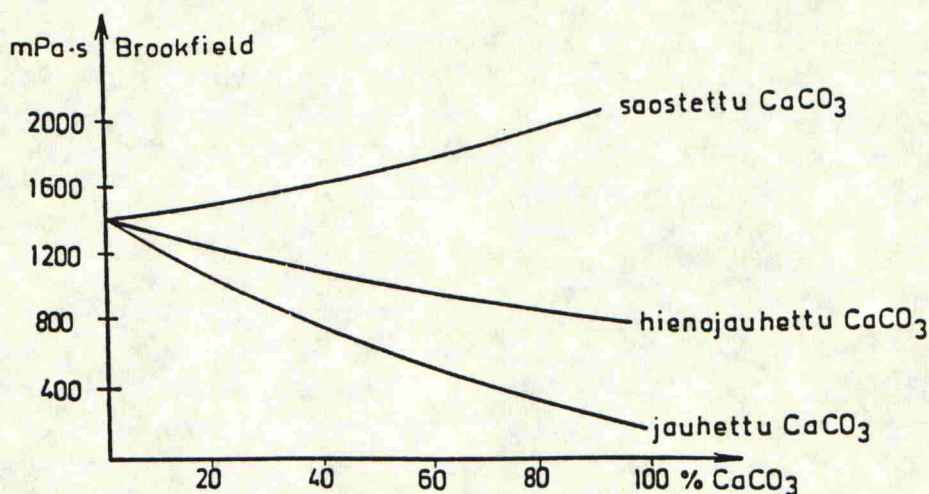
Kalsiumkarbonaattipigmentin lisäys nostaa kaoliinipäällysteen huokoisuutta ja tortuositeettia, jolloin painoväriin absorptio kasvaa /58/. Dennisonin /62/ tekemissä kokeissa korvaamalla 30 % kaoliinista kalsiumkarbonaatilla painojäljen laatu parani vaaleuden noustessa sekä painoväriin absorption kasvaessa, mikä johtunee vähentyneestä sideaineen määrästä. Huokoisemmasta rakenteesta johtuen paineen alaisena penetroituminen kalsiumkarbonaattipäällysteeseen on paljon nopeampaa kuin kaoliinipäällysteeseen.

Kalsiumkarbonaatin vaikutus optisiin ominaisuuksiin riippuu pitkälti sen keskimääräisestä partikkelikoosta. Pienellä partikkelikoolla saavutetaan paras kiilto ja valonsirontakerroin, mutta hiukkaskokojakauman ollessa kapea viskositeetti on korkea /63/.

Toisaalta kalsiumkarbonaatilla on kaoliinia alhaisempi pintaenergia, jolloin veden imeytymisnopeus on pienempi huokoskoon ollessa samanlainen /57/.

Kalsiumkarbonaatin käyttö on vähentänyt viiruongelmaa teräpäällälystyksessä, koska se ei aiheuta minkäänlaisia päällälystyspastan reologiasta johtuvia teräviiruja ja kova karbonaatti myös kuluttaa tehokkaasti terään jääneet roskat /10,64/. Näiden seurauksena kuiva-ainepitoisuutta on voitu nostaa /65/. Kuiva-ainepitoisuuden noston mahdollistaa myös jauhetun kalsiumkarbonaatin viskositeettia alentava vaikutus, jota on havainnollistettu kuvassa 9.

Kuiva-ainepitoisuuden nostolla on suora vaikutus kuivatusenergian vähenemiseen. Toisaalta karkealla kalsiumkarbonaatilla kuivatus vaikeutuu, koska vesi poistuu pastasta nopeasti ja se penetroituu syvälle pohjapaperiin /65/. Myös opasiteetti ja saavutettava sileys ovat heikohkot ja huokoskoon kasvu saattaa johtaa painovärin sideaineen imeytymiseen haitallisessa määrin. Suurimpana haittana kalsiumkarbonaatilla on kuitenkin sen liukeneminen happamassa paperinvalmistusprosessissa, mikä aiheuttaa vaahtoamista ja hartsiliimauksen vaikeutumista.



Kuva 9. Jauhettujen ja saostetun kalsiumkarbonaatin vaikutus pastan Brookfield 100 viskositeettiin /66/.

Kalanteroitaessa kaoliini- ja kalsiumkarbonaattipäällysteen erot pienenevät /62/. Valonsirontakerroin laskee, koska partikkeleiden välinen tila pienenee voimakkaasti. Kaoliinipastoilla merkittävin kiiltoon vaikuttava mekanismi on pigmentin suuntautuminen. Kalsiumkarbonaatilla taas siirtymismekanismi saa aikaan kiiltoa, jota edesauttaa pehmeä sideaine /38,67/. Kalsiumkarbonaatin käyttö laskee kalanteroinnin jälkeistä kiiltoa korvattaessa yli 30 % kaoliinista ja löyhensi pakkautumista. Samalla pinnan epätasaisuuksien syvyys ja lukumäärä kasvoivat, jolloin karheus kasvoi ja painojäljen kiilto pieneni /55,62,68/. Sekoittamalla selvästi muototekijältään poikkeavia pigmenttejä esimerkiksi kalsiumkarbonaattia kaoliinipäällysteeseen, saadaan huokoisempi ja valoasirottavampi päällyste. Näin ollen pigmenttinä käytetään lähinnä kaoliinia ja lisäpigmenttinä hienojakoista kalsiumkarbonaattia vaaleuden, päällysteen viiruttomuuden ja päällysteen absorptiokyvyn parantamiseksi /13,64,69/.

Erikoispigmenteistä titaanidioksidia käytetään sen huomattavan korkean taitekertoimen vuoksi, mikä lisää päällysteen vaaleutta ja opasiteettia. Synteettisten pigmenttien käyttö perustuu lähinnä niiden hyviin valonsirontaominaisuuksiin. Valonsirontaominaisuuden on saatu maksimoitua ilmatäytteisillä polymeeripalloilla, jolloin valo siroaa neljä kertaa kulkiessaan pigmentin läpi. Synteettisten pigmenttien käytöllä saavutetaan myös hyvä vaaleus ja bulkki. Ainoana merkittävä haittapuolena on vielä tällä hetkellä niiden korkea hinta /70/. Yleensä ottaen ei pienillä erikoispigmenttilisäyksillä pystytä selvästi muuttamaan päällysteen ominaisuuksia, vaan päällysteen rakenne on optimoitava pääpigmenttien avulla.

6.2. Sideaineen vaikutus päällysteen laatuun

Sideaineen tehtävänä on antaa päällysteeseen lujuutta sitomalla pigmenttipartikkeleita toisiinsa ja paperin pintaan. Päällystyksessä käytetyt sideaineet voidaan jakaa vesiliukoisiin sideaineisiin ja synteettisiin dispersioihin eli latekseihin. Toinen jakoperuste on luonnon sideaineet ja synteettiset sideaineet /9,45,66/.

Sekä kustannusten, että etenkin laadun kannalta sideainetta tulisi käyttää vain se määrä mikä jonkin lujuusominaisuuden suhteen on välttämätöntä. Pigmentin ympäröiminen sideaineella heikentää sekä optisia että painettavuusominaisuuksia. Päällysteen tarttuminen pohjapaperiin on saatava riittävän hyväksi ilman suuria sideainemääriä /5/. Tämä edellyttää pohjapaperilta selkeää pinnan rakennetta, johon päällystekerros voi hyvin ankkuroitua, mutta joka ei ime liikaa sideainetta päällystysseoksesta. Päällystystuloksen kannalta on tärkeää, että sideaine jossakin määrin tunkeutuu pohjapaperiin vahvistaen rajapintaa ja pohjapaperin pintakerrosta, mutta toisaalta liiallinen tunkeutuminen huonontaa pastan peittokykyä ja päällysteen laatua yleisesti /52/.

Pigmenttipäällystyksessä käytetyt sideainemäärät vaihtelevat sideaineesta ja sovellutuksesta riippuen 5 - 25 % pigmentin kokonaismäärästä. Sideainemäärän lisäys vaikuttaa lähinnä päällystetyn paperin absorptio-ominaisuuksiin ja optisiin ominaisuuksiin sekä pintalujuuteen. Toisaalta sorptio on hyvin herkkä päällystemäärän vaihteluille ja myös sideainevalinta vaikuttaa merkittävästi sorption ominaisuuksiin. Sen sijaan sideaineen määrä vaikuttaa vain vähän päällysteen rakenteeseen. Päällysteen huokoisuus kasvoi ja sileyks parani jonkin verran lateksin määrän vähentyessä

/45,58,71/. Sideaineiden taitekertoimet ovat hyvin lähellä pigmenttien taitekertoimia. Hävittämällä tehokkaasti heijastavia pigmentti-ilma -rajapintoja ne laskevat voimakkaasti valonsirontakykyä.

Pastan reologiset ominaisuudet ovat riippuvaisempia side- ja lisäaineiden tyypeistä ja määristä kuin pigmentistä. Parhaat reologiset ominaisuudet saavutetaan, kun sideaineen partikkelikokojakauma on kapea ja partikkelit ovat pieniä. Partikkelikoon pienetessä myös sitoutumislujuus, painoväriin peittävyys ja kiilto kasvavat /72,73/.

6.2.1. Vesiliukoisten sideainneiden ominaisuuksia

Mitä pienempi sideaineen molekyylimassa (liukoiset sideaineet) tai partikkelikoko (dispergoidut sideaineet) ja mitä vapaampia sideainemolekyylit ovat liikku- maan sitä herkemmin ne vaeltavat. Vallitsevan käsityk- sen mukaan mottling-herkkyys kasvaa päällysteen tärkkelysosuuden kasvaessa, lähinnä sen voimakkaan vaellustaipumuksen ja pintaenergeettisten ominaisuuksi- en vuoksi. Päällystetyn paperin epätasaisen painovä- rinabsorption syntymistä edistää myös tärkkelyksen taipumus muodostaa tiivis kalvo.

Vesiliukoiset sideaineet, kuten tärkkelys, proteiinit, karboksimeetyyliselluloosa (CMC) ja polyvinyylialkoholi (PVA tai PVOH), pyrkivät vaeltamaan veden mukana pääl- lysteen pinnalle, johon ne asettuvat veden haihtuessa. Kuivatusolosuhteet vaikuttavat voimakkaasti päällysteen sideainejakaumaan. Tärkkelys-lateksiseoksella oli mottlingin suhteen määrävänä seikkana sideaineen vael- tamisen estäminen eli kuivatus tuli aloittaa lievästi /9/. Näillä haihdutusnopeus täytyy pitää alhaisena ennen pastan jähmettymispistettä. Vesiliukoisten sideaineiden etuna on latekseja parempi vedenpidätysky- ky.

Tärkkelys vaikuttaa voimakkaasti pastan viskositeettiin ja vedenpidätyskykyyn. Tärkkelyspastoilla ajettavuus on usein erinomainen. Sen sijaan tärkkelys heikentää laatua verrattuna latekseihin. Optiset ominaisuudet, kiilto, sileys, kokoonpuristuvuus ja sitomiskyky ovat heikompia, mutta tärkkelyksen alhainen hinta houkuttelee käyttäjiä.

Veden kosketusajan pidetessä tärkkelys alkaa pehmentyä ja mekaaniset voimat saattavat hajottaa kerroksen /45/. Tärkkelyspäällysteen huonoa vedenkestoa voidaan parantaa hartseilla. Sideaineen lasipisteellä (T_g) on merkitystä kalanteroinnin kannalta, ja sideaineen kalvonmuodostuksen tulee tapahtua pääosin kuivausosalla, jotta päällystyskerros kestäisi kalanteroinnin aiheuttaman rasituksen. Tärkkelyksen määrän lisääntyessä pinnan hydrofiilisuus ja karheus kasvavat. Korkeasta pintaenergiasta huolimatta päällystetyn paperin vedenim nopeus on hyvin alhainen, mikä johtuu tärkkelyksen muodostamasta tiiviistä pinnasta.

Polyvinyylialkoholilla saavutetaan hyvät ominaisuudet niin kiillon kuin optisten ominaisuuksien suhteen. Se toimii optisten kirkasteiden kantajana ja sillä on myös erinomainen sitomiskyky, joten käytettävät määrät voivat olla alhaisia. PVA:n määrää pastassa rajoittavat jo muutenkin sen korkea viskositeetti ja huono vedenpidätyskyky. Lisäksi se saattaa pigmenttilietteeseen sekoitettaessa aiheuttaa shokin eli äkillisen viskositeetin nousun /75/.

CMC-lateksipastalla laikullisuus on selvästi pienempää kuin tärkkelys-lateksipastalla ja tilanne muuttuu entistä enemmän CMC:n eduksi päällystemäärän laskiessa. Sen sijaan suurta päällystemäärää käytettäessä (13 g/m^2) vaelluskelpoisen sideaineen määrä on CMC-lateksipastalla riittävän suuri aiheuttamaan lähes yhtävoimakasta laikullisuutta kuin tärkkelys, mikä korostuu lämpötilan noustessa, jolloin CMC:n viskositeetti laskee /43/. Päällysteen mottlingherkkyys lisääntyy

helposti käytettäessä useampia erilaisia sideaineita samassa päällystysseoksessa, sillä erilaisilla sideaineilla voi olla toisistaan poikkeavia vaellustaipumuksia /74/.

6.2.2. Lateksien ominaisuuksia

Lateksit ovat yleisimpiä päällystyssideaineita. Niiden etuna ovat helppo käsiteltävyys, hyvä säilyvyys mikrobiologisesti, stabiili pastan viskositeetti ja hyvä sidoslujuus. Käytettäessä lateksia sideaineena on sideainevaellus vähäisempää ja vedenpoistuminen nopeampaa verrattuna vesiliukoisiin sideaineisiin. CMC-lateksiseos antoi pienemmän mottling-taipumuksen, jota vähensi terän jälkeinen mahdollisimman lyhyt viive ennen jähmettymispitettä. Toisin sanoen tuli estää seoksen nestefaasin absorptio pohjapaperiin. Vaellustaipumusta voidaan vielä vähentää tekemällä lateksit pigmenttireaktiivisiksi /9,43,66/. Latekseilla saavutetaan myös paljon parempi kiilto johtuen niiden termoplastisesta luonteesta.

Käytännön oloissa lateksipastojen kuiva-ainepitoisuus yleensä ylittää arvon 58 %, eikä tällä kuiva-ainepitoisuusalueella esiinny K&N-arvoon vaikuttavaa sideaineen pinnansuuntaista vaellusta. Lateksipastojen kohdalla ei käytännön oloissa löydy tärkkelyspastoille tyypillistä geelinmuodostuspitettä. Lateksipastat ovat muutoinkin hyvin vähän riippuvaisia päällysteessä olevasta veden määrästä. Mikäli CMC-lateksipastoilla ilmenee laikullisuutta, on kuivatus aloitettava riittävän aikaisessa vaiheessa. CMC-lateksi-pastasta imeytyy kylmäabsorptiona vettä nopeammin pohjarainaan kuin tärkkelys-lateksipastasta, mikä johtuu CMC-lateksipastan huomattavasti pienemmästä viskositeetista. Kuumaabsorptiossa absorption nopeutuminen vastaa veden viskositeetin käyttäytymistä lämpötilan funktiona /43/.

Kriittisen lateksipitoisuuden alapuolella, mikä riippuu käytetystä lateksityypistä, päällysteen rakenteen

lujittuminen määräytyy suurimmaksi osaksi kaoliinin pakkautumisesta. Lateksi vaikuttaa tällöin pakkautumiseen kolloidisten ominaisuuksien kautta, jotka vähentävät pigmenttien järjestäytyneisyyttä. Kriittisen lateksipitoisuuden yläpuolella rakenteen lujittamiseen vaikuttavat partikkeleiden yhteenliittyminen ja lateksin liikkuminen kuivatuslämpötilassa. Tällöin kaoliinin orientoituminen alkaa taas kasvaa lateksipitoisuuden noustessa /71/.

Latekseja voidaan käyttää korkeassa kuiva-ainepitoisuudessa, koska niiden viskositeetti on alhainen, eivätkä ne nosta päällystyspastan viskositeettia liiaksi. Alkalipaisuudessa latekseissa on mukana pH:n mukaan reagoiva komponentti, joten paksuntajien käyttö on tarpeetonta. Siirryttäessä luonnonsideaineista lateksiin päällysteen optiset ominaisuudet paranevat. Eri lateksien välillä erot ovat suurimmat vaaleudessa; styreeni-butadieeni eli SB-lateksit pyrkivät kellastumaan valon tai lämmön vaikutuksesta /66/.

Päällysteet, joissa on sideaineena lateksi, ovat yleensä herkkiä fleksopainoväreille parantaen painettavuutta. Eri lateksien käytöstä johtuva ero päällysteen huokostilavuudessa ja huokoskoossa selittyy polymeerien jäykkyyseron perusteella. Lateksi tarjoaa erinomaisen joustavuuden, lujuuden ja kestävyuden. Päällysteen sideaineen osalta on huomioitava ettei se liukene painoväriin liuottimeen /76/.

SB-kopolymeerilateksit antavat sekä hyvän märkä- että kuivapintalujuuden. SB-lateksien ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa muuttamalla styreenin ja butadieenin suhdetta. Styreenin osuuden noustessa polymeeri haurastuu ja kovettuu eli T_g nousee. Styreenin osuutta nostettaessa lateksissa sitomisvoima vähenee sekä painoväriin tunkeutuminen, dimensiastabiliteetti, huokoisuus ja kiilto kasvavat. Yleisesti käytössä olevat styreeni/butadieeni suhteet ovat väliltä 50/50 - 100/0. Styreeni/butadieeni suhteella on vähäinen vaikutus päällysteen viskositeet-

tiin, reologiaan ja vesiretentioon. Sen sijaan lateksipartikkelin koolla on paljon voimakkaampi vaikutus näihin ominaisuuksiin /72,73/.

SB-lateksit antavat tiiviimmän pinnan, kun taas polyvinyyliasetaatti (PVAc) homopolymeerilateksit antavat huokoisen pinnan. Liian huokoinen pinta laskee painetun pinnan kiiltoa, joten hyvä tulos saadaan käyttämällä SB- ja PVAc-lateksin seoksia. Päälystetyn pinnan kiiltoon vaikuttavat eniten pigmenttisysteemi ja jälkikäsittely. Lateksivalinnassa kiiltoon voidaan vaikuttaa positiivisesti valitsemalla lateksi, jonka lasipiste on korkea /66/. Synteettiset lateksit sisältävät vaahtomista aiheuttavia komponentteja, mikä heikentää vedenpoistoa ja formaatiota. Ne voivat aiheuttaa myös muiden hydrofobisten aineiden kanssa ns. White pitch-ongelmia, joka puolestaan aiheuttaa puristinhuopien tukkeutumista /27/. Tärkkelystä käytetään lateksin ohella parantamaan vedenpidätyskykyä ja halventamaan pastareseptiä /66,72/.

Nollapaineessa polyvinyyliasetaatilla on latekseista pienin kontaktikulma, suurin karheus ja suurin vedenimunoisuus. Akrylaatilla ja SB-lateksilla saavutettiin paras sileyys. SB-lateksilla oli lisäksi pienin vedenimunoisuus ja hydrofobisin pinta. SB-lateksi vaatii vähintään vuorokauden kypsymisajan ennen kuin saavutetaan hyvä vedenkestävyys, kun taas akrylaatti muodostaa heti kirkkaan ja vedenkestävän sideainekalvon /45/.

Ulkoisen paineen alaisena pintasorption nopeus kasvaa, mutta järjestys on eri sideaineilla ja sideaineen määrillä sama kuin nollapaineessa. SB-lateksipolymeeri on pehmeä, mikä mahdollistaa hyvän filmin muodostumisen, kun taas PVAc on kova, mikä johtaa huokoiseen pintaan. Lisäksi PVAc kutistuu voimakkaammin kuivatuksessa, mistä seuraa kiillon lasku /45/.

6.3. Lisäaineiden vaikutus päällysteen ominaisuuksiin

Käytettäessä sideaineena pelkästään latekseja viskositeetin ja vedenpidätyskyvyn säätö tapahtuu lisäaineilla. Paksuntajien käyttö helpottaa saavuttamaan määrätyn viskositeettitason sekä reologiset ja vesiretentio-ominaisuudet /72/. Tällöin viskositeetin nostoon ja vedenpidätyskyvyn parantamiseen käytetään vesiliukoisia polymeereja, kuten karboksimeetyyliselluloosaa (CMC) ja polyakrylaatteja /21/. CMC:n määrän vähetessä nestefaasin viskositeetti pienenee ja sideainevaelluksen herkkyys siten kasvaa. Samalla kiilto kasvaa, koska pasta luovuttaa nestefaasin nopeammin ja siten päällysteen rakenne jää bulkkisemmaksi, jolloin kalanterointi antaa enemmän kiiltoa /43/. Normaalisti CMC:n käyttömäärät ovat 0.5 - 2 osaa. CMC:tä käytetään lisäksi polyfosfaattien ja -akrylaattien ohella dispergointiaineena sen aiheuttaman steerisen stabiloinnin vuoksi. Runsaasti liukoisia, pitkäketjuisia sideaineita käytettäessä voidaan joutua alentamaan viskositeettia mm. urealla tai polyetyleeniglykolilla.

Koska pasta sisältää yleensä paljon ilmakuplia stabiloivia pinta-aktiivisia aineita, tarvitaan alkoholeja tai eettereitä laskemaan pastan pintajännitystä ja estämään stabiilin vaahdon syntyminen. Päällystysseoksessa käytettävistä lisäaineista pinta-aktiiviset lisäaineet ovat mottling-riskin kannalta vaarallisimpia. Erityisesti päällysteen pinnan absorptio-ominaisuudet voivat helposti muuttua pinta-aktiivisten lisäaineiden vaikutuksesta ja absorptio päällysteen pinnalla voi häiriintyä.

Fleksopainatuksessa käytetyt vesipohjaiset painovärit vaativat päällysteeltä vedenkestoa, joten varsinkin käytettäessä vesiliukoisia sideaineita täytyy vedenkestävyyttä parantaa kovettimilla estämällä sideaineen liukeneminen tai tekemällä päällyste vettä hylkiväksi.

Glyoksaalia ja hartseja käytetään pastassa kovetin-aineena ja märkälujuuden antajana. Glyoksaalin huonoina puolina ovat tehottomuus emäksisessä ympäristössä ja reaktiivisyydestä johtuva viskositeetin nousu. Pastan pH:n säätöön käytetään yleensä vain emäksiä, kuten natriumhydroksidia ja ammoniakkia /66/. Voiteluaineena käytetään pastassa pintoja liukastavia aineita, kuten Ca- ja Na-stearaattia. Voiteluaineiden on esitetty vaikuttavan myös päällysteiden plastisuuteen ja vähentävän päällysteen tarttumista kuivatus- ja kalanterinteloihin tarpeeksi suurilla annostuksilla (yli 0,5 osaa). Kirkasteita käytetään parantamaan päällysteen silmämääräistä vaaleutta. Ne absorboivat valoa UV-alueella ja emittoivat sen sinisenä valona. Yleensä kirkasteita käytetään 0 - 3 osaa, jolloin vaaleus nousee parhaimmillaan yli 2 %-yksikköä. Tällaiset stilbeenijohdokset tarvitsevat toimiakseen kantajan ja ne toimivat huonosti pigmenttien kanssa, joilla on voimakas ultraviolettiabsorptio. Lisäksi kirkasteiden huonona puolena on vaikutuksen asteittainen häviäminen ja ihoa arsyttävä ominaisuus /6,75/.

7. SOFT-KALANTEROINTI

Kartongin kalanteroinnilla pyritään sileyden ja jäykkyyden väliseen kompromissiin. Jäykkyys on tietyllä alueella likimain suoraan verrannollinen kartongin paksuuteen, minkä vuoksi pyritään saavuttamaan mahdollisimman korkea bulkki /17/. Sileyden syntymiseen vaikuttavat pääasiassa rainan puristuminen ja aineen siirtyminen, kun taas partikkelien suuntautuminen ja kiillottavan pinnan jäljentymisen vaikuttavat lähinnä kiillon kehittymiseen.

On-machine soft-kalanterointi on tällä hetkellä nopeimmin kasvava alue kalanteroinnissa. Käytännön sovellukset pehmeänippisissä kalanteroinnissa ovat yleistyneet kuitenkin vasta viime vuosina. Sen käyttö ei ole rajoittunut vain päällystetyille mattapintaisille papereille, vaan se sopii hyvin myös sanomalehtipaperille, päällystetyille kartongille ja jopa joillekin korkeaa kiiltoa vaativille laaduilla /77,78,79/.

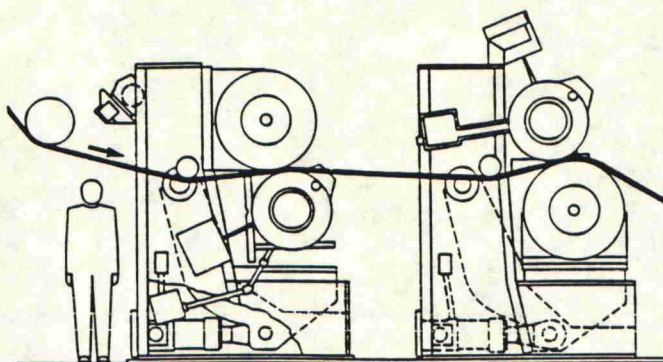
Soft-kalanteroinnissa lopputulokseen vaikuttavia tekijöitä ovat /78/:

Koneolot: lämpötila, nippipaine, nopeus

Laitteet: nippien lukumäärä, telojen koko, pehmeän telan materiaali

Rainan ominaisuudet: rainan lämpötila ja kosteus, päällysteresepti, massan koostumus.

Yleisimmin käytetään kaksinippistä soft-kalanteria, jolloin rainan molemmat puolet saavat käsittelyn. Kuvan 10. laitteistossa ensimmäisessä nipissä ylätelana on sileäpintainen terästela, jonka lämpötilaa voidaan nostaa höyryllä 150°C tai öljyllä 250°C. Jäljentymisteorian mukaan paine ja leikkausjännitykset yhdessä aikaansaavat telojen pinnan kopioitumisen eli sileystaso riippuu olennaisesti telojen pintasileydestä.



Kuva 10. Kaksinippinen soft-kalanteri, jossa ensimmäisessä nipissä on ylätelana terästela /80/.

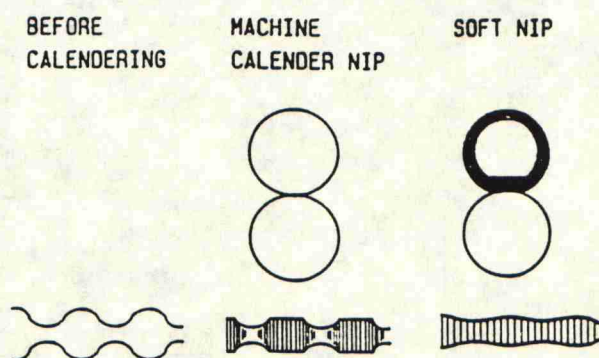
Pehmeänä telana kuvassa 10. on ensimmäisen nipin alate-la, joka on nykyään polymeeripinnoitettu elastisella materiaalilla aikaisemman kuitutelan asemesta. Pehmeän telan pinnan materiaalin kehittäminen on vielä kesken synteettisen telamateriaalin lämmönkestävyyden osalta. Nykyisin päästään läpötila-alueelle 100 - 160 °C. Soft-kalanteroinnissa toimitaan yleensä suhteellisen kovilla teloilla, koska niiden linjakuorma-, kulutus- ja lämpö-tilakestävyys ovat pehmeämpiä telamateriaaleja parem-mat. Synteettisen materiaalin pinta pehmenee lämpötilan noustessa, mikä aiheuttaa nippipaineen laskun ja läm-mönmuodostus nipissä kasvaa. Paperikonenopeuksilla muodonmuutoslämpö on ratkaiseva ongelma. Lämpölaajene-misen vuoksi telan poikkisuuntainen lämpötila on pidet-tävä vakiona, että kalanterointitulos olisi tasainen eikä pintamateriaali vaurioidu. Käytännön oloissa pintamateriaalien ominaisuudet, esimerkiksi kovuus, vaihtelevat kalanteroitavan paperilajin mukaan. Katkon sattua nipin pitää aueta välittömästi ettei pehmeän telan pinta vaurioidu metallitelan aiheuttamasta liian suuresta lämpötilasta eivätkä katkenneen rainan palaset aiheuta pehmeän telan pintaan markeerausta /15,78,79,80,81,82,83/.

Nipin muoto määräytyy pehmeän telan Poisson luvun perusteella. Pehmeän telan halkaisijan pienetessä puristuksen alaisena nippiin muodostuu nopeusero, jonka

vuoksi rainan nopeus alenee nippiin mentäessä ja kasvaa nipin ulostulopuolella /84/. Soft-kalanterin nipin pituus on 5 - 20 mm, riippuen viivapaineesta, lämpötilasta ja pehmeän telan kovuudesta. Terästelän lämmitys aiheuttaa pehmeän telan lämpenemistä ja pehmenemistä, mistä seuraa nipin leveneminen ja puristuspulssin maksimipaineen pieneneminen. Puristusalueen leveyttä voidaan suurentaa myös suurentamalla telojen halkaisijoita ja suurentamalla nippikuormitusta.

Koska nipin pituus on soft-kalanterissa paljon pidempi kuin konekalanterissa, saavutetaan tasaisempi tiheys ja kiilto /15,80/. Terästelänipin aiheuttama maksimipaine riippuu voimakkaasti paperin paikallisesta paksuudesta, kun taas pehmeää telaa käytettäessä on paikallinen painevaihtelu paljon vähäisempää /82/.

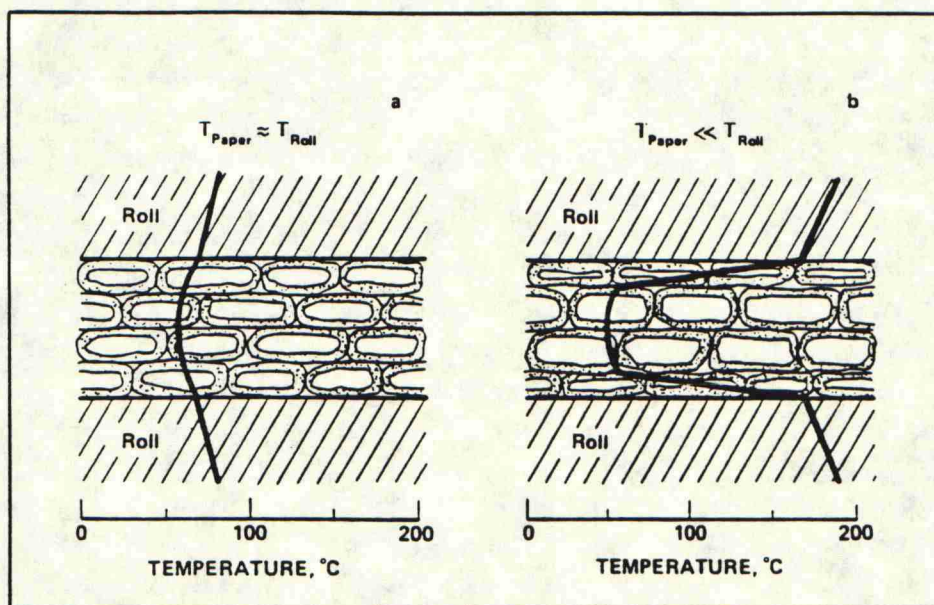
Nippivoimista puristusjännitys vaikuttaa paperin tiheyteen ja sileyteen sekä muihin z-suuntaisiin ominaisuuksiin. Leikkaus- ja kitkajännitykset vaikuttavat paperin tason suuntaisiin ominaisuuksiin. Pehmeä nippi pyrkii vakioimaan tiheyden, jolloin esiintyy paksuusvaihtelua /79/. Puristus- ja leikkausvoimat pystyvät lämpötilan ja kosteuden myötävaikutuksella plastisoimaan ja tasoittamaan tiheysvaihteluita kuvan 11. osoittamalla tavalla. Paksuuden pieneneminen on voimakkainta siellä missä paperi on plastisinta eli tapahtuu selektiivistä tihenemistä paperin pinnassa.



Kuva 11. Kone- ja soft-kalanteroinnin vaikutus rainan tiheyteen /79/.

Aiheutettaessa paperin paksuussuuntaan kosteus- ja lämpötilagradientteja käsittely kohdistuu paperin pintaosiin ja tällöin saavutetaan säästöä paperin opasiteetissa, paksuudessa ja bulkissa ja sitä kautta esim. lujuuksissa ja jäykkyydessä /82,85,86/. Gradienttivaikutuksen maksimoimiseksi pyritään mahdollisimman suoraan nippiin vientiin. Lämpötilagradientin tehostamiseksi osa johtoteloista voi olla jäähdytettyjä, tämä pitää kuitenkin tapahtua tarpeeksi ajoissa, että rainan keskiosa ehtii jäähtyä /87/.

Lämpötilagradientin keskeisenä etuna on rainan keskiosan pysyminen viileämpänä jonka vuoksi se puristuu vähemmän, kun taas pintakerroksissa kuidut litistyvät. Kuvassa 12. on esitetty lämpötila rainan z-suunnassa. Lämpötilaero tulisikin saada mahdollisimman suureksi rainan ja terästelan välillä /85/. Ilman puristusta tapahtuva lämmönsiirto on tehotonta, eikä voimakasta lämpötilagradienttia synny.



Kuva 12. Rainan lämpötilaprofiili z-suunnassa ja sen aikaansaama tiheneminen a. konekalanterissa b. soft-kalanterissa /85/.

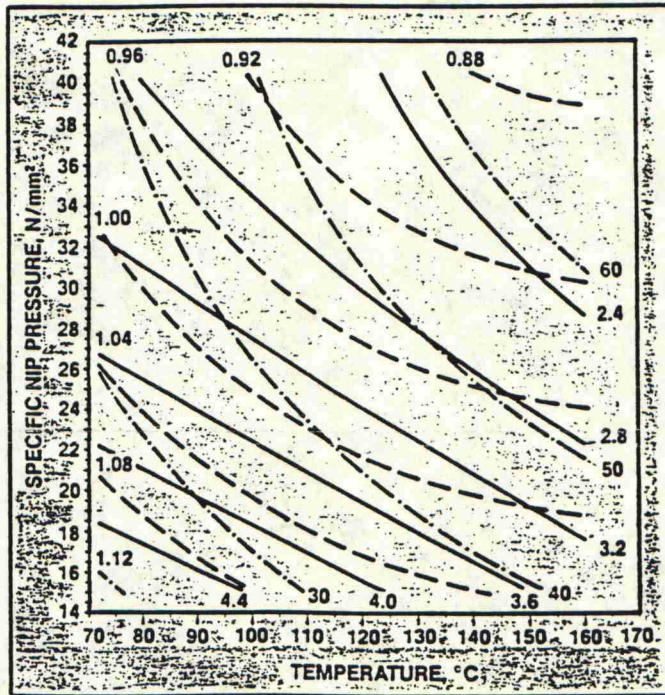
Lämpötilan nosto antaa paperille huokoisamman rakenteen vakio tiheyteen kalanteroitaessa. Lämpötilagradientin avulla saavutetaan tietty pinnan karheustaso pienemmällä bulkin menetyksellä. Myös paperin jäykkyys paranee,

eikä muutos selity kokonaan bulkkisuuden kasvulla vaan kalanterointi vaikuttaa ilmeisesti myös kuitujen väliin sidoksiin /88/. Lämpötilan merkitys kasvaa kalanterointia lisättäessä. Kalanteroinnin vaikutuksesta syvät ja leveät kuopat muovautuvat matalammiksi ja kapeammiksi, jolloin pienempien kuoppien suhteellinen osuus kasvaa /86/.

Korkea lämpötila kuivattaa paperia, jonka vuoksi se voidaan ajaa märempänä softiin tai käyttää höyrytystä. Lämpötilan käyttö vaatiikin riittävää kosteutta paperin pintarakenteeseen, jotta paperin pinnan lämmönjohtavuutta ja lasittumislämpötilaa saadaan parannettua. Paperi saadaan plastisemmaksi alemmissa lämpötiloissa. Lämpötilan ja kosteuden yhteisvaikutusta voidaan hyödyntää höyryn käytöllä, jonka etuna on pieni penetraatio paperin sisäkerrokseen. Kostutuslaitteen sijoituskohta voidaan arvioida rainan nopeuden perusteella /79/.

Sileyden parantuminen lämpötilan noustessa on päällystetyllä lajeilla voimakkaampaa kuin päällystämättömillä, koska päällysteen yleisimpien sideaineiden lasittumislämpötilat ovat välillä $-18 - +37^{\circ}\text{C}$ /43,89/. Kuituteloja käytetään, kun tavoitteena on saavuttaa korkea kiilto, sileys tai tiheys /77/.

Soft-kalanteroidussa paperissa sileys ja kiilto paranevat nippien määrää lisäämällä, nopeutta pienentämällä, lämpötilaa ja viivakuormitusta nostamalla. Kuvassa 13. on esitetty tietyn suuruisten karheus, bulkki ja kiilto arvojen saavuttamista eri nippikuormituksilla ja lämpötiloilla /90/. Formaatio huononee huono formaatioisessa paperissa enemmän kuin parempi formaatioisessa paperissa /91/.



Kuva 13. Paperin karheus, kiilto ja bulkki eri nippi-kuormituksilla ja lämpötiloilla. Kahdessa nipissä soft-kalanteroitettu LWC-paperi. Karheus PPS (—), bulkki (---), kiilto Gardner (-.-) /90/.

Kuvasta 13. nähdään, että lämpötilaa nostamalla ja nippipuristusta laskemalla saavutetaan sama sileyys ja bulkki, mutta kiilto on noussut /90/. Toisaalta opasteetti laskee linjapainetta, lämpötilaa ja telojen kovuutta nostettaessa. Päällystetyllä paperilla kiilto nousee voimakkaasti lämpötilan noustessa /80/. Eri päällystettytyyppien välillä ja pienellä nippipaineella kiilto vaihtelee varsin paljon.

Kaikki hallintasuureet vaikuttavat soft-kalanteroinnissa johonkin tilasuureeseen positiivisesti ja toiseen negatiivisesti. Lämpötilaa ja nippipainetta muuttamalla voidaan hallita soft-kalanterilla tiettyä karheusaluetta. Parhaan kalanterointituloksen antaa kosteudeltaan, paksuudeltaan ja formaatioltaan tasainen raina. Paperin ollessa bulkkinen raina vaimentaa kalanteroinnin vaikutusta, josta seuraa huonompi sileyys, alhaisempi kiilto ja pienempi tiheys.

Soft-kalanterin etuja ovat alhainen tilantarve ja alhaiset käyttökustannukset, johtuen pienestä miehistön tarpeesta ja vähäisestä katkoalttiudesta. Softkalanteroinnin tuloksena tiheyden nousu on vain vähäistä ja tiheysvaihtelut ovat tasaantuneet eivätkä opasiteetti, lujuudet ja vaaleus ole laskeneet. Merkittävimpänä erona superkalanteriin nähden fleksopainatuksen kannalta on tiheyden ja absorptio-ominaisuuksien tasaantuminen sen sijaan, että paksuus olisi tasainen /80/.

Verrattuna normaaliin konekalanterointiin soft-kalanteri antaa eräitä etuja, kuten paremman lujuuden, korkeamman kiillon, tasaisemman painopinnan, ei mustumista, paremman ajettavuuden, paremman painettavuuden (huokoisuus, abs.om.) sekä paremman bulkin ja jäykkyyden /78,85,92,93/. Pidemmän puristusajan johdosta pehmeillä teloilla on mahdollista saada paljon parempi kiilto kuin terästeloilla, vaikka maksimi nippipaine soft-kalanterilla on vain 20 - 35 MPa ja konekalanterilla se on 40 - 100 MPa /94/.

Konekalanterointi parantaa pinnan sileyttä ja vähentää huokoisuutta pienentämällä erityisesti isompien huokosten kokoa. Vaikutus on suoraan verrannollinen linjapaineeseen ja lämpötilaan. Jos paperin pinnan kuidut ovat heikosti sitoutuneet, voivat kuidut nousta uudelleen kastuessaan päällystysten aikana. Pyrittäessä pieneen karheuteen puristuvat paperin paksuimmat kohdat nipin keskellä erittäin suureen tiheyteen. Tästä on seurauksena kuitujen ja sidosten rikkoutumista ja paperin lujuusominaisuuksien heikkenemistä /94/.

Rainaa konekalanteroitessa ennen päällystystä se on vielä melko kostea ja sen lämpötila on korkea (kosteuden optimi on noin 8 - 9 %). Plastisen tilan ansiosta voidaan käyttää alhaista linjapainetta hyvän sileyden saavuttamiseksi bulkin kuitenkin pienentymättä sanottavasti /29/.

Sileyden ja kiillon parantamiseksi rainan pintaan lisätään usein vettä (kosteusgradientti). Toisaalta liian suuri veden lisäys johtaa tummumiseen ja epätasaiseen pinnan kutistumiseen. Kalanteripaineen kasvaessa keskimääräinen huokostilavuus pienenee ja siirrytään kohti pienempiä kuoppaleveyksiä. Konekalanterin vaikutuksesta rainassa paikoittain esiintyvät paksumman kohdat tiivistyvät ja paksuus vakioituu, jolloin syntyy tihentymiä ja pinnan imukyvyn tasaisuus heikkenee /17,78,85/.

8. FLEKSOPAINATUS

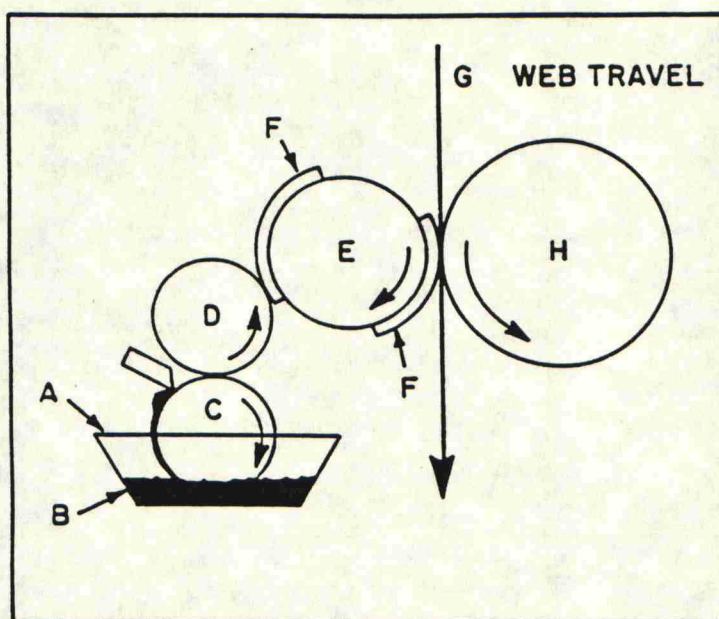
Fleksopainomenetelmän määritelmä muutettiin 1980 seuraavanlaiseksi: Fleksopainatus on suora kohopainomenetelmä, jossa elastisille painolevyille, jotka voidaan kiinnittää halkaisijaltaan erikokoisille painolattasylintereille, siirretään rasteritelalla juokseva tai pastamainen painoväri, joka pyyhittää joko telalla tai raakelilla.

Fotopolymeerilevyjen kehittäminen 1973 paransi merkittävästi flekson kilpailukykyä. Painovärin kontrollointi on parantunut raakeloinnin avulla ja nykyään voidaan yhdistää useampia painolaitteita yhden ison vastatelan ympärille, jonka halkaisija on luokkaa 1700 mm. Painokoneen nopeus on laineripainatuksessa luokkaa 150 - 300 m/min /95,96/.

Fleksolla on etunaan mahdollisuus painaa hyvin erilaisia materiaaleja ja myös painovärejä voidaan muutella. Fleksopaino on kohopainon kaltainen painomenetelmä, jossa käytetään kohorotaatio ratkaisua ja pientä nippipuristusta. Se soveltuu sekä arkki- että rainapainatukseen. Yhdessä nipissä painetaan vain paperin toinen puoli ja painoväri siirretään painolevyiltä suoraan paperille. Painoelementit ovat elastisia ja ne kiinnitetään painosylintereille. Painoelementit valmistetaan yleisimmin fotopolymeerista, joka mahdollistaa korkealuokkaisten ja kulutuskestävien laattojen valmistuksen. Vaihteleviin painatuspituuksiin voidaan valmistaa erikokoisia sylintereitä kohtuullisin kustannuksin, mikä lisää menetelmän käyttöaluetta. Painovärit ovat nestemäisiä ja ne kuivuvat joko liuottimen imeytyessä painomateriaaliin tai sen haihtuessa kuivatusosassa.

Fleksopainokoneet ovat rakenneratkaisuiltaan melko yksinkertaisia, joka tekee painokoneen hyvin käyttö-

varmaksi. Fleksopainoyksikön rakenne on esitetty kuvas-
sa 14. Värialtaassa pyörii annostelutela, joka nostaa
painoväriä rasteritelalle. Yleensä painovärin ylimäärä
poistetaan raakelilla rasteritelan pinnasta /97/.
Painovärin määrää säädetään muuttamalla annostelutelan
ja rasteritelan keskinäistä etäisyyttä. Rasteritelan
pinnalla on jatkuva rasterikuppirakenne (yleensä
noin 80 - 150 l/tuumaa), joiden ansiosta fleksopaino-
menetelmässä on mahdollista käyttää pigmentoituja
painovärejä liukoisten aniliinivärien lisäksi. Rasteri-
telan linjatiheys riippuu käytetyn painolevyn linjati-
heydestä. Karkeasti ottaen rasteritelan linjatiheys on
kolminkertainen verrattuna painolevyn linjatiheyteen.



Kuva 14. Fleksopainoyksikön rakenne /98/.

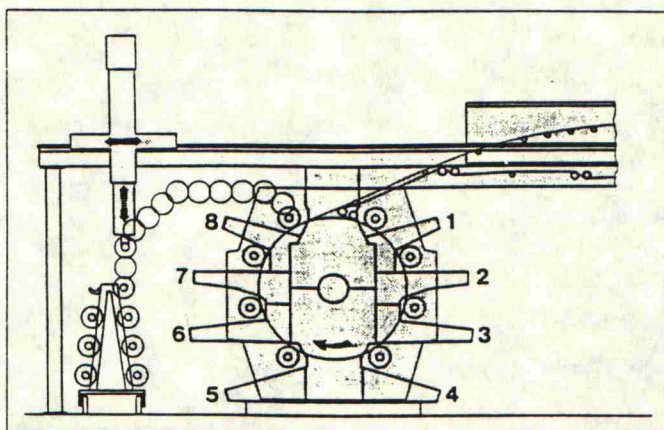
A - painovärin syöttö, B - painoväri, C -
nostotela, D - anilox/rasteritela, E - pai-
nosylinteri, F - painolevy, G - raina,
H - vastasyylinteri.

Rasteritelalta ohut kontrolloitu painovärikerros siir-
tyy painosylinterillä olevien kumi- tai muovilaatojen
pinnalle, josta se edelleen siirtyy painomateriaalille.
Värinsiirto painolevylle perustuu levyllä koholla
olevien painavien pintojen ja painovärin välille
syntyvään kontaktiin ja painovärin halkeamiseen. Paino-
värin sivusuuntaista leviämistä ei-painavalle pinnalle

pyritään hallitsemaan painovärin viskositeetilla. Värikerroksen paksuus on paperin pinnalla 4 - 6 μm . Tarvittava nippipuristus on alhainen ja se saadaan aikaan paino- ja vastasyylintereiden etäisyyttä muuttamalla /47/.

Vastasyylinteri on valmistettu teräksestä, joten painolevyn tulee olla joustava. Joustava ja kokoonpuristuva painolevy tasoittaa painoalustan ja painolevyn välisiä epätasaisuuksia /50/. Reliefin ominaisuuksien laajat vaihtelurajat ovat perusta fleksopainatuksen monikäyttöisyydelle. Flexopainolevyissä fotopolymeerikerroksen kovuus on 30 - 60 °Sh ja paksuus 0.3 - 3 mm /60/. Pehmeä painolevy muotoutuu paperin pinnan mukaan ja mikäli paperin pinta puristuu kokoon, on kontakti paperin ja painolevyn välillä hyvä.

Suuremmissa fleksopainokoneissa kahdeksalla värilaitteella varustetut koneet ovat vahvoilla kilpailussa 6+2-värikoneiden kanssa, johtuen pienemmästä tilantarpeesta, lyhyemmästä radasta ja alhaisemmista investointikustannuksista. 8-värikoneet ovat myös tuotannossa huomattavasti joustavampia. 8-värikoneen rakenne on kuvassa 15. Viivakoodit voidaan painaa erillisessä yksikössä ja lakkaus voidaan suorittaa 8:nnella värilaitteella, jolloin 7:ttä käytetään kuivaimena. Lakkauksen tavoitteena on parantaa kiiltoa ja hankauskestävyyttä /99,100/.



Kuva 15. Nykyaikainen fleksopainokone 8:lla värilaitteella ja automaattisella painosylinterin vaihtolaitteella /99/.

Fleksopainatuksen yksinkertaisen periaatteen takia sen käyttöalana on ensisijaisesti vaikeiden painoalustojen tai yksinkertaisten painoaihioiden painaminen. Perinteisesti tällaisia painatustarpeita esiintyy paperinjalostus- ja pakkausteollisuudessa. Fleksolla painettaessa painoväri kuivuu tarpeeksi nopeasti, joten painatusmateriaali voidaan rullata uudestaan painotapahtuman jälkeen tai siirtää suoraan jälkikäsittelyyn, joita ovat laminointi, päällystys, nuuttaus, stanssaus, pussinvalmistus jne. Flekson etuja ovat lisäksi alhaiset kustannukset sekä painatuksen osalta että painokonetta hankittaessa /101/.

Fleksografia on suosittu painomenetelmä USA:ssa ja Euroopassa ja sen kasvunäkymät ovat sekä lyhyellä että pitkällä tähtäimellä hyvät /99,101/. Liitteessä 2. on tarkasteltu eri painomenetelmien laatukriteerejä kartongin painatuksessa. Fleksopaino on ollut pitkän aikaa myös kehittyvin painomenetelmä, jolla on tietysti rajoituksensa korkealuokkaisia pakkauspainotuotteita painettaessa. Rajoitukset ovat lähinnä laatan valmistuksessa, jossa välttämättömien korkeuserojen hallinta painopinnan alueella on vaikeaa /46,99/. Taulukosta 1. ilmenee, että vuonna 1993 fleksopainatuksen markkinaosuus olisi 25 %, jolloin se olisi toiseksi käytetyin painomenetelmä heti offsetin jälkeen /100/.

Taulukko 1. Fleksopainatuksen markkinaosuuksien kehitys verrattuna muihin painomenetelmiin /100/.

<i>Druckverfahren</i>	<i>Marktanteile in %</i>	
	<i>1988</i>	<i>1993</i>
<i>Offsetdruck</i>	44	46
<i>Tiefdruck</i>	22	20
<i>Hochdruck</i>	10	3
<i>Flexodruck</i>	18	25
<i>Sonstige Verfahren</i>	6	6
<i>Gesamt</i>	100	100

9. FLEKSOPAINETTAVUUS

Painettavuus ei ole paperin yksittäinen ominaisuus, vaan se on laaja termi käsittäen kaikki paperin painatuksen laatuun vaikuttavat tekijät.

9.1. Preprintin ja postprintin vertailu

Lainerikartongin painatus suoritetaan yleisimmin valmiille aaltopahville (postprint) jatkojalostuksen yhteydessä, jolloin ongelmana on pesulautakuvioituminen. Käytettävän lainerin neliömassa joudutaan nostamaan ilmiön ehkäisemiseksi noin 200 g/m², vaikka lujuuksien puolesta riittäisi alhaisempikin neliömassa. Painatuksen kannalta paras on E-aalto, jonka osuus aaltopahvissa onkin jatkuvasti kasvamassa /102/.

Lainerin painatus ennen aaltopahvikonetta on jatkuvasti yleistymässä (preprint), ja korkeaan painotulokseen pyrittävillä päällystetyillä laaduilla käytetään ainoastaan esipainatusta. Esipainettujen lainerien ongelmana on tarpeeksi hyvän dimensiostabiliteetin saavuttaminen, ettei se kutistu aallotusprosessissa, jolloin painatus ei mene kohdakkain stanssauksen kanssa /103/.

Jälkipainatuksen asema on huomattavasti vahvempi verrattuna esipainatukseen, koska pienet, muutaman tuhanen aaltopahvilaatikon, erät kannattaa valmistaa hitailla jälkipainatuskoneilla pienen hylkymäärän takia. Painettaessa valmiille aaltopahvilaatikkoaihiolle ei synny liioin samanlaisia kohdistusvaikeuksia kuin esipainatuksessa. Euroopassa on tällä hetkellä arviolta 30 preprint konetta, kun taas postprint koneita on 1000 - 1500. Fleksomarkkinoilla voimakkain kasvu tapahtuu

aaltopahvin esipainatuksessa taulukon 2. mukaan, jos-
kaan sen osuus ei siltikään ole kovin merkittävä
/100,102,103,104/.

Taulukko 2. Fleksopainatuksen osuus erilaisissa paino-
alustoissa ja niiden kasvuprosentit /100/.

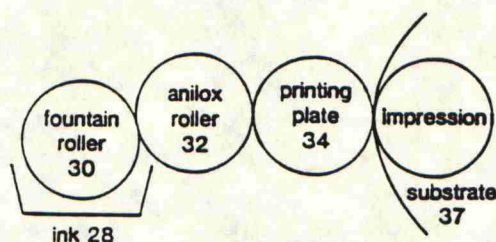
Marktsegment	Marktanteil in %	Zuwachsrate in %
Flexible Verpackung	26	13
Wellpappe	18	2
Tragetaschen	11	2
Papiersäcke	8	2
Getränkeverpackungen	6	8
Etiketten	5	5
Wellpapp-Vordruck	3	15
Sonstiges	23	5
Gesamt	100	6

9.2. Fleksopainokoneen vaikutus painotulokseen

Puristus painonipissä vaikuttaa suuresti painojäljen laatuun. Periaatteessa fleksopainatuksessa ei nippipuristusta käytetä lainkaan, vaan levy ainoastaan koskettaa paperin pintaa (ns. kiss-print). Käytännössä kuitenkin tarvitaan tietty puristus, että väri siirtyisi paperille /48/.

Puristuksen ollessa liian pieni painojälki ei ole puhdas kompakteilta pinnoilta ja tummilta rasteripinnoilta puuttuu pisteitä ja jälki on epätasaista. Liian suuri puristus aiheuttaa reunojen epäterävyyttä, pisteiden leviämistä, tumman pään tukkeutumista, vierintää ja epätasaisuutta kompakteilla pinnoilla. Nippipuristuksen kasvaessa peitteisen pinnan densiteetti kasvaa jonkin verran, mutta rasteripisteet muotoutuvat soikeiksi. Optimipuristus on pienin mahdollinen puristus, jolla peitteiset pinnat peittyvät ja kontrasti on maksimissaan /48/.

Väriin siirtymisen edellytyksenä paperille on, että painolevy ja paperi ovat kontaktissa. Lisäksi painovärikerroksen siirtyminen edellyttää, että telojen pintaenergiat kasvavat rainaan päin mentäessä ja painoväriin pintajännitys on mahdollisimman alhainen. Painoväriin pintajännityksen täytyy olla alhaisempi kuin telojen, jolloin painoväri siirtyy adheesion avulla anilox-telalle ja painolevylle. Painolevyn pintaenergian tulee edelleen olla suurempi kuin anilox-telan, että painoväri siirtyy rasterikupeista mahdollisimman täydellisesti. Kuvassa 16. on esimerkki fleksopainolaitteen osien pintaenergioista. Painoalustan pintaenergian tulisi ainakin teoriassa olla painolevyä korkeampi, mutta joidenkin tutkimusten mukaan painojäljen laatu on parempi painolevyn pintaenergian ollessa suurempi, jolloin painovärikerros halkeaisi siirtyessään painoalustalle.



Kuva 16. Esimerkki pintaenergioista fleksopainatuksessa /98/.

Painoväriin siirtymisessä painoalustalle ei ole vaikeuksia, koska paperin pintaenergia on tasolla 40 - 60 mN/m ja painoväriin pintajännitys on 30 - 40 mN/m. Pooliset vesipohjaiset painovärit tarttuvat hyvin poolisille pinnoille ja ne kuivuvat nopeasti, jolloin kuivan painojäljen tahrimista (rub-off) ei esiinny. Tämä on valmiin tuotteen kannalta tärkeätä, koska laatikoita saatetaan pinota useita kertoja. Toisaalta vesipohjainen painoväri katkaisee kuitujen välisiä sidoksia ja irronneet kuidut suttaavat helposti painojäljen. Painoväriin kiintoaineen määrää on voitu nostaa aina 75 % saakka, nopeuttaen painoväriin kuivumista /102/.

Painojäljen laatu muodostuu suurelta osin painonippi-ilmiöiden tuloksena. Ehtona ideaaliselle painonipille esitetään seuraavaa:

- nippipuristuksen painavilla alueilla tulee olla vakiollinen
- sivusuuntaisia muodonmuutoksia tai virtausta ei saa esiintyä nipissä

Kohopainomenetelmissä korkeusero painavan ja ei-painavan pinnan välillä on vähintään 100 μm suuruusluokkaa. Nipin nimellisen leveyden alueella kontaktia syntyy ihannetilanteessakin vain painavilla pinnoilla. Tämän vuoksi puristus vaihtelee nipissä, jonka seurauksena syntyy värinsiirron vaihteluja ja sitä kautta painojäljen epätasaisuutta /97/.

Nippipuristuksesta seurauksena olevaa painojäljen sivusuuntaista virtausta on vaikeaa eliminoida. Fleksopainatuksessa muuttujia leviämisen hallitsemiseksi ovat periaatteessa nippipuristus ja viskositeetti. Viskositeettia nostamalla leviäminen vähenee /97/.

Nippipuristus sinällään ei ole ratkaiseva tekijä vaan sen aikaansaama kokonaismuodonmuutos kontaktikohdalla. Fleksonipissä painolevy on ensisijainen muotoa muuttava pinta. Rasteripisteiden leviäminen on kaksikerroksisella painolevyllä vähäisempää, koska rasteripisteet muodostuvat kovemmasta materiaalista ja pohja on pehmeämpää. Painolevyn pinnan kokonaismuodonmuutosta vastaavalla määrällä levy tunkeutuu paperin pinnan epätasaisuuksiin /60/.

Nippipuristus on riippuvainen myös painolevyn kovuudesta. Koska myös painavan pinnan osuus eli rasteriprosentti vaikuttaa nippipuristukseen, käytetään painolevyn kokoonpuristuvuutta ($h = 80 - 100 \mu\text{m}$) säätösuurena /105/. Edellisen perusteella painolevyn paksuussuuntaisilla reologisilla ja volymetrisillä ominaisuuksilla on keskeinen asema pyrittäessä painojäljen tasai-

suuden ja pisteenmuodostuksen hallintaan fleksopainatuksessa. Kohopainatuksen kehitystyössä nämä tekijät ovat olleet heikommin hyödynnettyjä.

Fotopolymeeripainolevyissä rasteripisteiden korkeus on levynvalmistustekniikasta johtuen aina suurempi kuin peitteisen pinnan korkeus, minkä vuoksi peitteisen pinnan laatu on herkkä materiaalin karheudelle. Tämä voidaan estää painamalla peitteiset pinnat ja linjatytöt eri yksikössä kuin rasteripinnat.

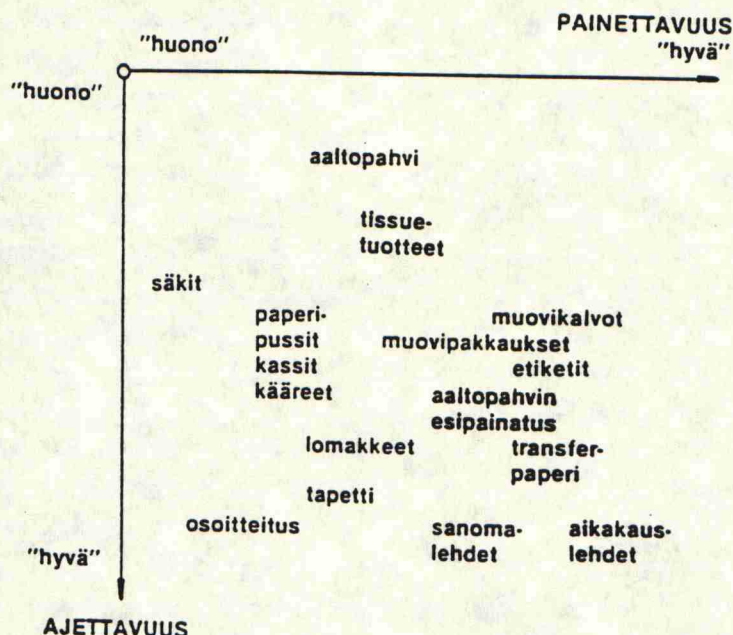
9.3. Painoalustan vaikutus fleksopainatuksessa

Painettavuus riippuu useista eri tekijöistä, kuten rakenteellisista, optisista ja funktionaalisista ominaisuuksista.

Perinteisesti fleksolla painettujen tuotteiden lisäksi on fleksoa käytetty myös sanomalehtien ja sylinterinmuotoisten metalli- ja muovipakkausten painamiseen. Ongelmat löytyvät painojäljen laadun puolelta. Absorboivalle ja epätasaiselle materiaalille, kuten paperille, ei ole pystytty painamaan täysin tyydyttävää painojälkeä. Huonolaatuiselle paperille flekso- menetelmällä saadaan parempi painojälki kuin muilla painomenetelmillä, mutta hyvään painojälkeen pyrittäessä fleksopainatus asettaa omat vaatimuksensa paperille, kuten kaikki muutkin painomenetelmät /50/.

Painatuksellinen vaikeus koskee sekä painettavuutta että ajettavuutta. Hyvä painettavuus edellyttää materiaalilta rasteripisteen oikeaa toistoa, hyvää väri-intensiteettiä ja väripinnan kiiltoa. Näihin vaikuttaa ratkaisevasti painopinnan karheus ja imukyky /106/. Fleksopainatus menetelmänä tulee painettavuudessa vastaan. Fleksopainatuksen suurimmat heikkoudet liittyvät painojäljen laatuun, tarkentaen painojäljen epätasaisuuteen sekä pisteenmuodostuksen vaikeaan hallittavuuteen. Painokoneiden uusilla rakenneratkaisuilla on

ajettavuusvaikeuksia pystytty vähentämään /60/. Hyvä ajettavuus tarkoittaa materiaalin häiriötöntä kulkua painoprosessissa, joka edellyttää materiaalilta dimensio-stabiiliteettia, pölyämättömyyttä ja nukkautumattomuutta /106/. Kuvassa 17. on painettavuuden ja ajettavuuden koordinaatistossa esitetty fleksopainatuksen käyttöaloja.

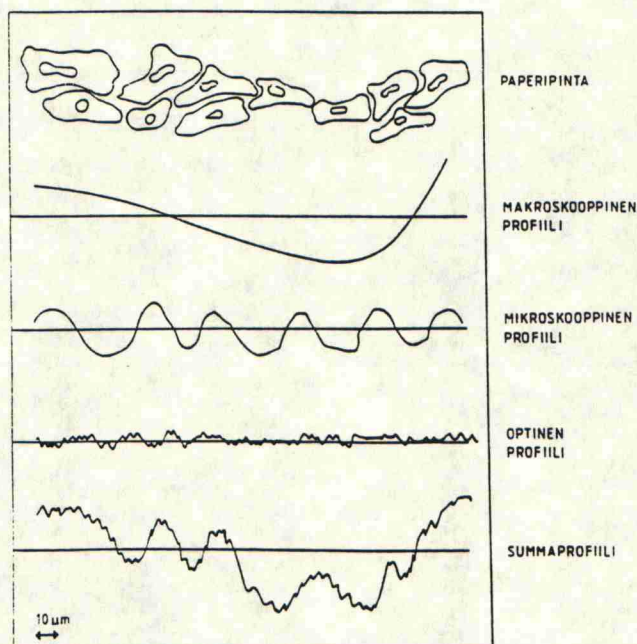


Kuva 17. Eri materiaalien käyttäytyminen fleksopainatuksessa /60/.

Kartongin karheudella on tärkeä merkitys painotulokseen. Karheuden pieneneminen parantaa melkein kaikkia painatus- ja jatkojalostusominaisuuksia. Näitä ovat esimerkiksi painojäljen kiilto ja tasaisuus sekä painojäljen tummuus. Hyvä sileys on peitteisten pintojen ja linjatöiden kannalta paljon tärkeämpää kuin rasteripintojen painamisessa. Asian parantamiseksi peitteiset pinnat painetaan eri yksiköissä kuin rasteripinnat.

Kokonaiskarheus koostuu optisesta karheudesta (0.1 - 1 μm), mikrokarheudesta (1 - 100 μm) ja makrokarheudesta (100 - 1000 μm). Kuvassa 18. on esitetty paperin pinnan karheusalueet. Optiseen karheuteen vaikuttaa pigmentti-partikkeleiden koko ja muoto yhdessä niiden pakkautumi-

sen kanssa. Optinen karheus aiheuttaa valon sirontaa. Mikrokarheus vaikuttaa painoalustan ja painovärin väliin kontaktiin ja se johtuu kuitujen dimensioista. Makrokarheus johtuu koneen aiheuttamasta markkeerauksesta ja se aiheuttaa mottlingia /8,28/.



Kuva 18. Karheuden muodostuminen eri mittakaavaisesta karheudesta /107/.

Karheus estää kontaktin muodostumisen painovärikerroksen ja paperin välille painonipissä ja karheustilavuus rajoittaa painovärikerroksen tasaisuutta. Karheustilavuus suurenee karheuden aallonpituuden kasvaessa, joten painoväri peittää pienitilavuuksisen optisen karheuden ensimmäisenä. Tasainen painovärifilmin levittyminen ja halkeaminen painonipissä edellyttää, että väri kostuttaa paperin ja tarttuu sen pintaan hyvin lyhyen kontaktiajan kuluessa. Tasaisen painojäljen muodostuminen riippuu värin kontaktista ja paperin pinnan kostuminen värin reologisista ominaisuuksista sekä paikallisista absorptiovaihteluista painovärin tunkeutuessa paperin päällysteen kapillaareihin. Puutteellinen painovärin ja paperin välinen kontakti aiheuttaa peitteisen pinnan täplikkyyttä ja puuttuvia rasteripisteitä /5,53,103,107/.

Mitä karheampi painoalusta on sitä pehmeämpi ja syvempi reliefi tarvitaan kontaktin synnyttämiseksi painolevyn ja painoalustan välille. Syvästä reliefistä on vaikutuksia levyjen yksityiskohtien toistokyvyille; mitä syvempi reliefi sitä huonommaksi muodostuu resoluutio. Yksityiskohtien toistokyky heikkenee myös värimäärää lisätessä, koska tummien sävyjen tukkeutumisen estämiseksi on käytettävä harvempaa rasteria.

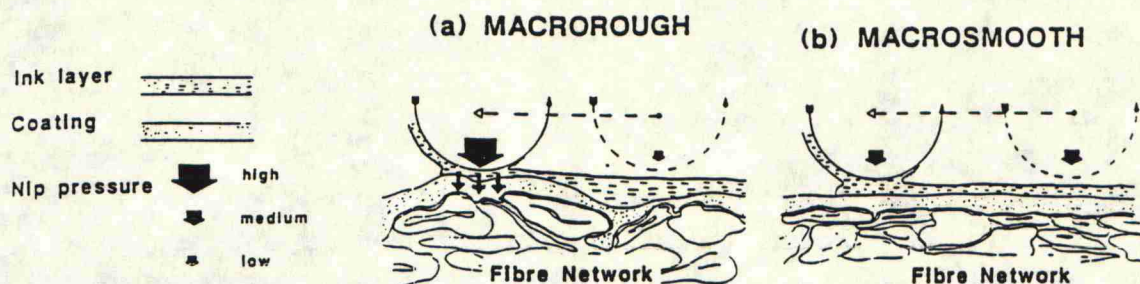
Paperin kokoonpuristuvuus vaikuttaa painatussileyteen eli sileyteen painonipissä ja sitä kautta subjektiivisiin tasaisuusarvosteluihin. Mitä enemmän paperi puristuu kokoon, sen paremmin joustava painolevy pystyy muotoutumaan paperin pinnan mukaan ja sitä tasaisempi painojälki saadaan.

Tiaisen tekemien koepainatusten mukaan /50/ päällystetyillä tapettipapereilla karheuden väheneminen sekä kokoonpuristuvuuden ja pohjan tasaisuuden kasvaminen paransivat painojäljen laatua. Yllättävää oli, että kokoonpuristuvuus oli suurempi päällystetyillä kuin päällystämättömillä laaduilla. Absorptio-ominaisuuksien ja paksuuden tasaisuus olivat myös tärkeitä. Pinnan päällystäminen ja tasoittaminen paransivat painojäljen laatua.

Toisaalta taas Tiaisen väittämästä poiketen Ginmanin /108/ ja Jensenin /105/ tulosten mukaan kokoonpuristuvuuden pieneneminen paransi painotulosta. Tosin ainakin Jensenin työssä oli oletettu, että kokoonpuristuvuuden kasvu johtuisi karheuden kasvusta, joten karheuden ja kokoonpuristuvuuden tarkastelu olisi suoritettava samanaikaisesti.

Paperin paksuuden tulee olla tasainen ettei puristus paperin ja painolevyn välillä vaihtelisi. Puristuksen vaihtelun seurauksena painoväri asettuu epätasaisesti paperiin aiheuttaen epätasaisen painojäljen kuvan 19.

esittämällä tavalla. Myös paperin pinnan absorption vaihtelu näkyy painojäljessä epätasaisuutena /109/.



Kuva 19. Paksuusvaihtelujen vaikutus nippipuristukseen ja painovärikerroksen paksuuteen /33/.

Jensenin tutkimukset osoittivat /105/, että kartongin paksuusvaihtelut vaikuttavat painatuksen laatuun, koska paksuusvaihtelut aiheuttavat muutoksia painatussyvyyteen, joka taas vaikuttaa pisteenmuodostuksen kautta rasteripinnan densiteettiin. Kartongin paksuusvaihtelujen tulisi olla alle $10\text{ }\mu\text{m}$ ettei painotulokseen muodostuisi häiritsevää vaihtelua.

Valo heijastuu eri suuntiin sen kohdatessa kartongin pinnan ja kiilto saadaan laskemalla peiliheijastuvan valon suhde tulevaan valoon. Kiiltävän painojäljen aikaansaamiseksi painoväriin tulisi peittää pinnan karheus. Optinen karheustilavuus täyttyy, mutta mikroskooppisen karheustilavuuden täyttämiseen värimäärä on liian pieni. Osa valosta tunkeutuu kartongin sisään, josta osa absorboituu ja osa heijastuu tai kulkee kartongin läpi. Kartongin väri johtuu valon aallonpituuksien erilaisesta absorptiosta.

Painovärikerroksen yläpinnan karheudella ja paperin kiillolla on suora vaikutus painojäljen kiiltoon, mitä korkeampi paperin kiilto sitä korkeampi on painojäljen kiilto. On myös arvioitu, että 80 % osuus painojäljen kiillosta on peräisin paperin kiillosta /68,110/. Kiiltoa nostamalla aina 60 % Hunter-kiiltoon paranevat kontrasti ja täyspeitteisen pinnan densiteet-

ti. Paperin korkea kiilto vaikuttaa usein myös negatiivisesti painoväriin kiinnittymiseen ja kuivumiseen.

Painoväriin absorptio päällysteeseen on riippuvainen painepenetraatiosta ja kapillaaripenetraatiosta, kuten päällysteenkin absorptio pohjapaperiin. Se on verrannollinen huokossäteeseen, huokospituuteen ja kosketuskulmaan. Fleksopainovärien kuivuminen tapahtuu absorboiville materiaaleille painettaessa pääosin absorboitumalla ja osittain haihtumalla. Tiiviille materiaalille painettaessa kuivuminen tapahtuu lähes yksinomaan haihtumalla /102/. Hitaalla painatusnopeudella on tarpeeksi aikaa painoväriin kuivumiselle imeytymisen ja haihtumisen avulla, mutta nopeilla koneilla haihtumisen nopeuttamiseksi tarvitaan kuivainta.

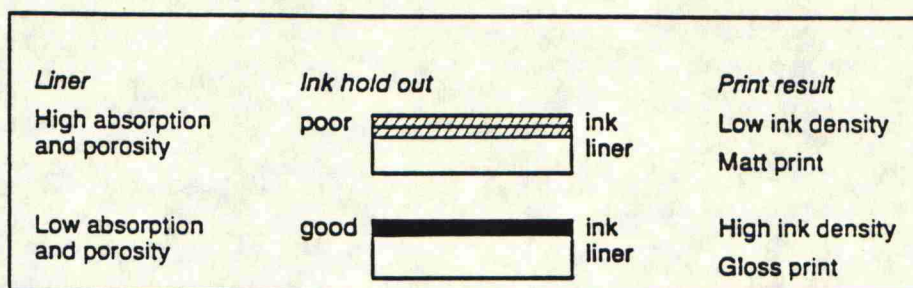
Pisteenkasvu on sitä suurempaa mitä vähemmän paperi imee painoväriä. Erittäin pienihuukoisella ja absorboimattomalla pinnalla väri ehtii levitä ennen kuivatusvaihetta, lisäksi väri saattaa levitä neliväripainatuksessa tai lakkauksessa. Paras kontrasti saadaan tasaiselle ja kiiltävälle paperille, joka ei absorboi painoväriä /48/. Painojäljen tummuuden tasaisuuden kannalta absorption tasaisuus on ensiarvoisen tärkeitä /5/.

Painovärimäärää säätämällä voidaan vaikuttaa pisteen leviämiseen. Fleksossa painovärimäärää ei voida säätää painatuksen aikana, vaan painoväriin tarve on tunnettava ennakolta prosessi- ja materiaalikohtaisesti, että osataan valita linjatiheydeltään ja kuppikooltaan oikea rasteritela /102/. Painolevyn linjatiheys täytyy taas valita kompromissina sallitun pisteen leviämisen ja tarvittavan yksityiskohtien toistokyvyn välillä.

Jos paperin pinta on hyvin huokoinen, se toimii usein suodattimen tavoin, jolloin painoväriin pigmentti jää pintaan ilman sideainetta. Huokosten halkaisijaan vaikuttavat pinnan tiheys ja rakenne. Päällystetyllä laadulla suurimmat huokokset johtuvat pohjakartongin

päällystämättömistä kohdista, kun taas pienimmät huokokset johtuvat pigmentti- ja sideainerakenteesta. Pienet reiät puolestaan näkyvät valkeina täplinä painoväripeitteisillä pinnoilla /111/.

Painovärin ja lainerin vuorovaikutuksessa on neljä tärkeää asiaa. Painovärin absorptiovastus eli missä määrin painoväri pysyy lainerin pinnalla, mitä on havainnollistettu kuvassa 20. Kuivuminen eli miten nestemäinen painoväri muotoutuu kuivaksi painovärikerrokseksi. Painovärikerroksen tasaisuus ja ulkonäkö. Ja neljäntenä lainerin vaaleus, koska se on optisena taustana painojäljelle ja se vaikuttaa painovärin sävyyn /103/.



Kuva 20. Painovärinabsorptiovastuksen merkitys painojäljen laatuun /103/.

Paras painojäljen tummuus ja kiilto saavutetaan lainerin huokoisuuden ja absorption ollessa pieniä /58/. Kun värinsiirto on hyvä ja tunkeutuminen vähäistä, tarvitaan painolevyllä vain ohut värikerros haluttujen peitteisten pintojen optisten ominaisuuksien saavuttamiseksi, samalla kun olosuhteet ovat sopivat vähäiselle rasteripisteiden leviämiselle ja siten hyvälle rasteripintojen ja peitteisten pintojen väliselle kontrastille /6/. Kaoliinipäällystetyillä lainerilla oli paras painojäljen tummuus ja kiilto verrattaessa sitä valkopintaisiin päällystämättömiin laatuihin /103/.

Painojälkeä arvioitaessa kriteerinä käytetään painojäljen tasaisuutta, suhteellista kontrastia, pisteen leviämistä, maksimidensiteettiä, kiiltoa, pisteenkasvua ja sävyntoistoa.

Tiheä, sileä, kiiltävä, kokoonpuristuva ja painoväriä hylkivä paperi on parasta painojäljen tummuuden kannalta. Densiteetin epätasaisuus johtuu painovärikerroksen epätasaisesta paksuudesta. Tumman painojäljen muodostuminen ei välttämättä vaadi paksua värikerrosta, vaan värin, joka kuivuu paperin pinnalle /50/. Tällöin painovärin pigmentin koko suhteessa rainan huokoskokoon on merkittävä /58/. Paperin vaaleudella on suora vaikutus painatuksessa saavutettavaan tummuusalueeseen. Hyvin vaalealle paperille painettaessa tummuusalue laajenee, koska paperin ja painovärin välinen kontrasti on korkea /12/. Kuvassa 21. on kaavio miten saavutetaan painovärikerroksen hyvä ulkonäkö /103/.

Hyvä kastuvuus			
Nopea absorptio	=>	Ei mottlingia	
Sileys		Ei tahriintumista	
Sileys			
Alhainen hukoisuus	=>	Korkea painojäljen tummuus	=> Hyvä painojälki
Pieni absorptio		Korkea painojäljen kiilto	
Ei huopa/viirakuvioitumaa	=>	Ei juovia	
Nopea absorptio		Ei painamattomia kohtia	

Kuva 21. Eri tekijöiden vaikutus hyvään painojälkeen /103/.

9.4. Päällysteen vaikutus fleksopainatuksessa

Pigmenttipäällistyksessä pohjamateriaalin pinnalle levitetään pigmenttiä, jotka sidotaan toisiinsa ja pohjaan sopivalla sideaineella. Tavoitteena on sekä tuotteen ulkonäön että erityisesti painettavuuden parantaminen. Päällystekerros parantaa sileyttä joko täyttämällä kuitujen välisiä tiloja tai muodostamalla kuitujen päälle tasaisen kerroksen. Päällystetyn paperin painettavuus määräytyy pitkälti pinnan rakenteen

perusteella ja päällystemäärä on voimakkain kaikkiin painettavuusominaisuuksiin vaikuttava tekijä.

On todettu, että korkean laadun omaavaa päällystettyä tuotetta ei voida valmistaa ellei myös pohjana ole hyvä raina. Päällysteellä voidaan peittää joitain rainan vikoja, mutta päällyste parantaa rainan perusvikoja vain heikosti ja usein päällystys päinvastoin korostaa pohjamateriaalissa olevia vikoja /28/. Kaikkien ominaisuuksien tulisi olla tasaisia sekä kone- että poikkisuuntaan, jolloin päällystetyn rainan laatu paranee ja päällystysnopeutta voidaan nostaa.

Painolaitoksella on mahdollisuus käyttää halvempia päällystämättömiä laatuja, mutta usein loppukäyttö tai hyvään painotulokseen pääseminen edellyttää päällystetyn paperin käyttöä. Päällystämättömän paperin pinta on mikroskaalassa epätasainen ja siinä on huokosia ja reikiä. Pääsyy paperin päällystämiseen on yleensä peittää kuidut ja täyttää niiden väliset aukot, jolloin saadaan tasaisempi painopinta /54/. Päällyste parantaa painettavuutta muodostamalla sileän ja painoväriä imevän pinnan. Jotkut päällysteet muodostavat painoväriä hylkivän pinnan, joka vaikeuttaa painamista, kuivaamista ja painoväriin kiinnittymistä /76/. Hylkimistaipumukseen vaikuttaa mm. painoalusta alhainen pintaenergia ja painokoneen liian pieni nippipuristus. Toiset päällysteet taas alentavat paperin pinnan absorptiokykyä, jolloin saattaa esiintyä painoväriin leviämisen- ja kuivumisongelmia.

Sasagawa et al. on esittänyt /112/, että hyvässä päällysteen rakenteessa on tasainen sideainejakauma, paljon pieniä huokosia ja hyvä sileys. Tällöin saavutetaan hyvä pintalujuus, K&N-painoväriin vastaanottokyky sekä pinnan ja painoväriin kiilto.

Päällystetyillä papereilla painoväriin imeytyminen paperiin painonipissä on erittäin vähäistä. Määräävä tekijä värinsiirrosta oli pinnan mikrokarheus. Pai-

nonipin jälkeen vetävät pintajännitysvoimat painoväriin nestefaasin päällysteen huokosiin. Jos huokoset ovat suurikokoisia, joutuu myös painoväriin pigmenttiä huokosiin, jolloin painopinnan densiteetti laskee. Painoväriin sideaineen imeytyminen puolestaan huonontaa painojäljen kiiltoa /8,58,113/. Yleensä päällystys ei aiheuta huomattavaa fleksovärien kuivumisen alentumista. Jos päällyste sisältää runsaasti kaoliinia, voi se absorboida painovärejä johtaen liituiseen ulkonäköön /76/.

Painoväriinabsorptioon vaikuttavat päällystetyllä paperilla lähinnä huokoisuus ja pinnan mikrokärheus sekä muut pintaominaisuudet kuten kastuvuus ja siihen vaikuttavana tekijänä erityisesti pintaenergia. Päällysteillä on toisinaan alhainen pintaenergia, mikä heikentää pinnan kastuvuutta painovärien suhteen /57/. Painoväriinabsorption nopeus riippuu pääasiassa sideaine/pigmentti-suhteesta, päällystekerroksen pintarakenteesta ja painoväriin ominaisuuksista, erityisesti painoväriin liuotinkomponenttien käyttäytymisestä /5/.

Päällysteen ja painoväriin pintakemialliset ominaisuudet sekä päällysteen huokoskokojakauma ovat tärkeitä tekijöitä painoväriin liuottimen epätasaisessa absorboitumisessa päällysteeseen. Painoväriinabsorption epätasaisuus johtuu usein päällysteen pinnan epätasaisesta sideainejakaumasta. Paljon sideainetta sisältävissä kohdissa päällysteen pinta on suljettu, eikä painoväriin liuottinta pääse absorboitumaan riittävästi päällysteeseen. Alkalinen pinta-pH huonontaa painojäljen märkähankauskestävyyttä.

Pohjapaperin absorptio-ominaisuuksilla on myös vaikutusta nesteen ja sideaineiden imeytymisen kautta painettavuusominaisuuksiin. Liian voimakas ja epätasainen imeytyminen heikentää päällysteen pintalujuutta ja aiheuttaa painojäljen epätasaisuutta. Myös pintarakenteen tiheyden pienimittakaavainen vaihtelu aiheuttaa

päällysteen huokoisuuden vaihtelun kautta absorptiokyvyn epätasaisuutta /98/.

Päällysteen sileys vaikuttaa painovärin peittokykyyn ja kiiltoon. Sileämmille laaduille on helpompi painaa, koska niissä on vähemmän huokoisia kohtia. Päällysteen hiukkaskoon pienetessä väriabsorptio kasvaa pigmenttihiukkasten välisen tilavuuden kasvaessa ja kapillaarivoimien suurentuessa /41/. Väri tunkeutuu nopeasti paperin pintaan, jossa on paljon pieniä huokosia, mutta ei jatka tunkeutumistaan liian syvälle. Tällöin valo, joka läpäisee paperin pinnalle jääneen painovärikerroksen, pääsee tunkeutumaan paperiin ja heijastuu sieltä takaisin eli saavutetaan korkea painatuksen tummuus /12/.

Van Gilderin tekemien tutkimusten mukaan /114/ päällystyspastan kuiva-ainepitoisuutta nostettaessa sekä kalanteroimattoman että superkalanteroidun päällysteen kiilto nousi. Myös painojäljen kiilto sekä päällysteen rakenteen ja pinnan tasaisuus olivat parantuneet.

Kun päällystetyn paperin pinta on sileä sekä absorptiokyky heikko ja kun painoväri kastelee sen tasaisesti, muodostuu värikerroksen omasta paksuusvaihtelusta merkittävin densiteetin vaihteluun vaikuttava tekijä. Päällysteen pinnan ollessa karheampi kuin painovärikerroksen paksuus epätasaisuuden lähteinä ovat lähinnä kontaktinmuodostumisen puutteellisuus painovärin ja painettavan pinnan välillä tai pinnan karheusprofiilin täyttyminen /76/. Liitteissä 3. ja 4. on tarkasteltu päällysteen vaikutusta painettavuuteen.

Tehdasoloissa päällystetyn kartongin pinta on yleensä niin karhea, että normaalipaksuinen painovärikerros ei ole riittävä peittämään pintaprofiilin kohollaan olevia kohtia. Tällaisissa kohdissa värikerroksen paksuus on niin ohut, ettei painoväri pysty tehokkaasti absorboimaan valoa. Vastaavasti osa painoväristä "menee hukkaan" tunkeutuessaan pinnan syvim-

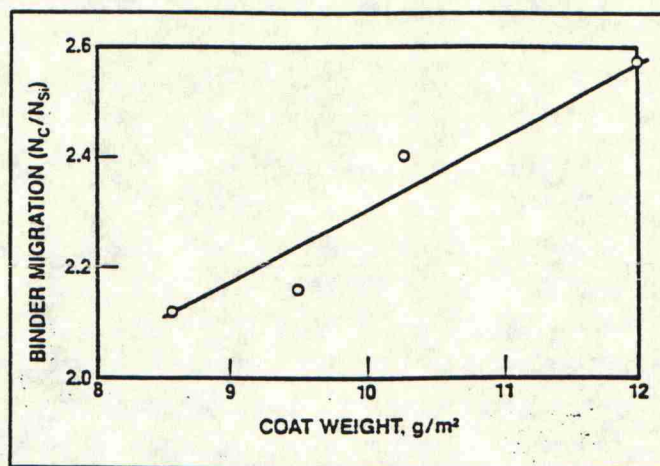
piin kuoppiin parantamatta kuitenkin keskimääräistä tummuusarvoa. Värintarpeen pienetessä myös rasteripainatuksen laatu paranee, koska rasteripisteiden leviämisen vaara silloin vähenee ja tiheämpään rasteriin siirtyminen on mahdollista /29/. Päällysteen pinnan ollessa karhea ja avonainen sitävästoin painoväriin kuivuminen on hyvin nopeata /115/.

Pigmentin harva pakkautuminen ja alhainen päällysteen tiheys parantavat kokoonpuristuvuutta. Paperin pinnan ollessa kokoonpuristumaton ei edes pehmeä fleksopaino-levy pääse kontaktiin paperissa olevien syvimpien kuoppien kanssa. Tällöin päällystetyillä papereilla täytyy olla huomattavasti parempi sileys että saavutettaisiin hyvä painojälki, koska painatuspuristus on pieni ja väri siirtyy "hipaisukosketuksen" avulla vain paperin pinnan ulommaisiin osiin. Paperin ollessa sekä sileä että kokoonpuristuva on olemassa edellytykset tasaisen painojäljen syntymiselle /50/.

On myös alueita, joissa päällystetyt paperit voivat aiheuttaa ongelmia fleksopainatuksessa. Kiiltävillä papereilla yleisin ongelma on huono märkähankauslujuus. Päällysteen sideaineen liukeneminen kastuessaan voi johtaa painoväriin leviämiseen loppukäytössä. Päällysteen heikko sitoutuminen pohjapaperiin voi johtaa likaongelmiin painoprosessissa, joka taas heikentää painojälkeä. Päällysteen viallisuudet kuten huokoset, reiät, kraaterit ja viirut aiheuttavat helposti painovärittömiä kohtia /54/.

Paksummat päällysteen kohdat kuivuvat hitaammin, joten ne ovat alttiita voimakkaalle sideainevaellukselle ja päällysteen pinnan tiivistymiselle. Päällysteen painoväriinabsorption on todettu olevan alhaisemmalla tasolla niillä kohdilla, jossa päällysteen paksuus on ollut suurempi. Päällystemäärän suurentaminen lisää mottling-riskiä, koska tällöin vaelluskelpoista sideainetta ja vettä on enemmän tarjolla. Kuvassa 22. on esitetty

sideaineen määrä päällysteen pinnalla päällystemäärän kasvaessa.



Kuva 22. Sideainevaellus päällystemäärän funktiona pastalla, jossa on 100 osaa kaoliinia sekä 6 osaa tärkkelystä ja SB-lateksia. Pastan kuiva-ainepitoisuus oli 58 %. N_c/N_s on pinnan sideainekonsentraation suhde pinnan kaoliinin konsentraatioon /116/.

Pohjapaperin täytyy olla tarpeeksi tasainen ja päällystekerroksen peittävä, että saavutetaan tasainen päällysteen pinta. Päällystemäärän ollessa liian alhainen päällystetyn paperin pinnan epätasaisuus aiheuttaa paikallisia painevaihteluja, jotka taas aiheuttavat muutoksia painoväriin siirtymisessä ja penetraatiossa /33/. Johtuen fleksolevyjen pehmeystä nämä painevaihtelut ovat pieniä fleksopainatuksessa.

Lainerikartongin päällystyksellä on melkoinen vaikutus eri ominaisuksiin; absorptio laskee ja pinta on huomattavasti sileämpi. Taulukossa 3. on verrattu keskenään eräiden lainerilaatujen tärkeitä ominaisuuksia /103/.

Taulukko 3. Valkaistua sellua sisältävien lainereitten ominaisuuksia /103/.

Property	Unit	Type of liner			
		White testliner	Fully bleached kraftliner	White top kraftliner	White top kraftliner coated
Basis weight	gm ²	150	150	150	150
Density	kg/m ³	660-760	710	740	800
Gurley	sec/100 ml	50-200	20	70	>500
Drop test	sec	10-100	20-40	40-100	100-1,000
Bendtsen	ml/min	900-1,300	700	400	100
Brightness	% ISO	67-73	82	73	78
Dennison		9-13	16	18	12
Burst strength	kPa	150-350	650	850	800

Taulukossa 3. mainituilla lainereilla on suuria eroja painotuloksissa, kun ne painettiin identtisissä olosuhteissa. Testlainerilla esiintyi alhaista painoväriin densiteettiä ja painovärittömiä kohtia, kun taas päällystetyllä lainerilla oli korkea painoväriin densiteetti ja taipumusta mottlingiin /103/.

9.5. Mottlingin kehittyminen painatuksessa

Mottlingia voidaan luonnehtia ihmissilmän erottamaksi ei-toivotuksi laikkuisuudeksi painetulla pinnalla. Se on tyypillisesti loivakontrastista ja pienitaajuisia painojäljen densiteetin tai joskus kiillon epätasaisuutta. Mottling on useimmiten mitattavissa densiteetin pienimittakaavaisena vaihteluna, joka on kooltaan noin 1 - 7 mm. Mottling-ilmion syinä pidetään pääasiallisia vaihteluja yhdistyneinä alhaiseen ja paikallisesti vaihtelevaan painoväriin asettumisnopeuteen /117/. Jensenin tekemien tutkimusten mukaan /105/ pitempiaaltoinen mottling johtui kartongin ominaisuuksista, kun taas lyhyempiaaltoiseen mottlingiin vaikuttavat enemmän painoväriin ominaisuudet.

Painojäljen epätasaisuus voidaan jakaa laikullisuuteen (mottle), joka on matalakonstrastista tummuusvaihtelua pinnoilla, joilla peitto on riittävä ja täplikkyys (speckle), joka on suurkontrastista tummuusvaihtelua pinnoilla, joilla peitto on riittämätön /50/.

Mottlingin muodostuminen on offsetissa useimmiten esitetty tapahtuvan painoväriin epätasaisen takaisinsiirtymän vaikutuksesta. Fleksossa mottlingia esiintyy vähemmän johtuen kohopainoperiaatteesta sekä pienestä nippipuristuksesta.

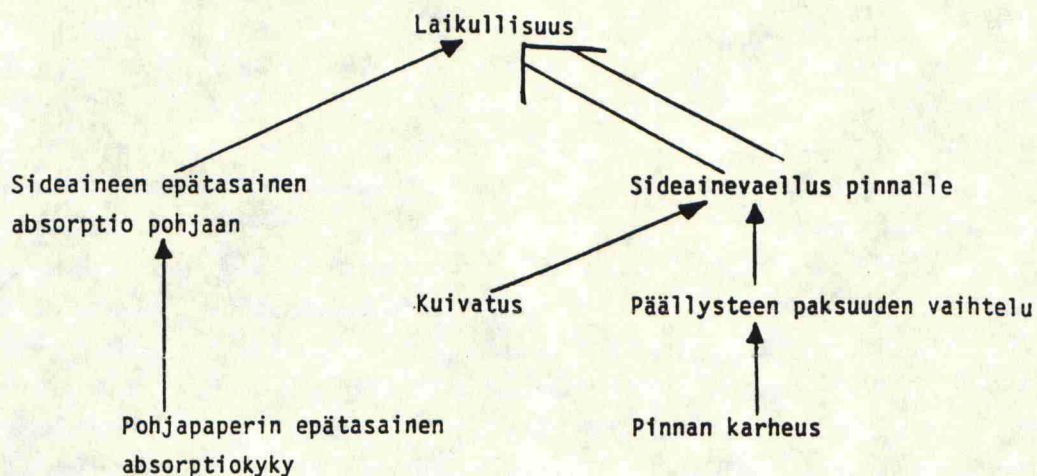
Niemisen mukaan /54/ yksiväripainatuksessa ilmenevä mottling voi syntyä seuraavilla tavoilla:

Painoväriin siirtyminen painoalustalle vaihtelee paikallisesti; esimerkiksi painoväriin ja paperin välinen adheesio vaihtelee.

Värinsiirto painoalustalle on vakio, mutta painovärikerroksen paksuus vaihtelee pienessä mittakaavassa, joka ilmenee densiteettierona painojäljessä.

Värinsiirto ja painovärikerroksen paksuus ovat vakioita, mutta painoväriinabsorptiossa esiintyy paikallisia vaihteluita. Painojälkeen syntyy densiteettieroja, koska valo ei pysty absorboitumaan syvemmälle tunkeutuneeseen painoväriin yhtä tehokkaasti kuin pinnalla olevaan painoväriin.

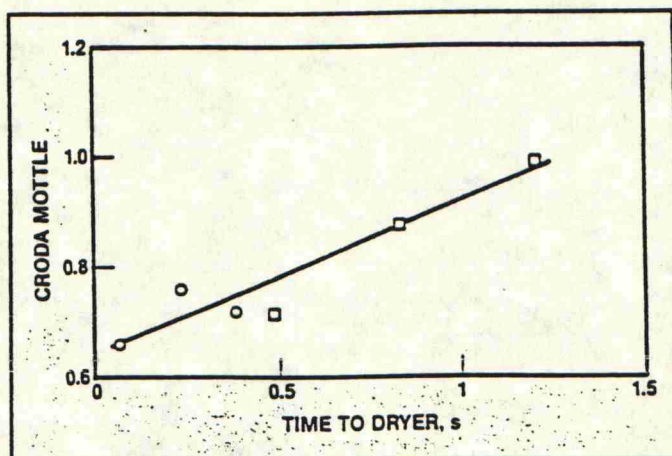
Päällystysprosessi on paperin mottling-herkkyyden muodostumisessa keskeinen vaihe. Oikealla päällystykseen ohjauksella voidaan minimoida pohjapaperista lähtöisin olevia mottling-riskejä ja toisaalta huolimattomalla päällystyksellä voidaan saada aikaan hyvinkin mottling-herkkää paperia, vaikka pohjapaperi olisi täysin tasalaatuista. Kuvan 23. kaaviossa on esitetty päällystyksestä johtuvan mottlingin syntyminen.



Kuva 23. Kaavio laikullisuuden syntymekanismista /43/.

Sideaine liikkuu veden mukana siihen suuntaan johon vettä poistuu ja sideainevaellus alkaa hetkestä jolloin päällyste koskettaa paperia. Päällysteen sisältämä kosteus siirtyy rainan kuituihin, jolloin sideainetta alkaa virrata rainaan. Teräpäällästyksessä hydraulinen paine pakottaa päällysteen siirtymään rainalle ja ankkuroi päällysteen rainaan. Tämän jälkeen sideainevaellus on eräänlainen kapillaariprosessi. Mitä pitempään raina kulkee ennen kuivatusta sitä enemmän neste-mäinen aine ja samalla sideaine siirtyvät päällysteestä rainaan /24/.

Kuvassa 24. on esitetty mottlingin kehittymistä ajan funktiona. Päällästyspannan jähmettyminen on suuresti riippuvainen vedensiirron kehityksestä päällästyksen ja kuivatuksen aikana. Pohjarainaan imeytyneitä vesimääriä voidaan pienentää lyhentämällä applikaatiotelan ja kuivaimen välistä etäisyyttä sekä vähentämällä pohjarainan absorptiokykyä /116/. Pohjarainan absorptiolla ei ole kuitenkaan teollisuudessa nopealla koneella merkittävää vaikutusta laikullisuuteen /43/.



Kuva 24. Mottling (Croda mottle) päällysteen applikoinnin ja kuivauksen välisen ajan funktiona. Pasta sisältää 100 osaa kaoliinia, 6 osaa tärkkelystä sekä 6 osaa SB-lateksia ja sen kuiva-ainepitoisuus on 58 % /116/.

Mottling ei ole funktio sideaineen määrästä päällysteen pinnalla tai z-suunnassa, vaan siihen vaikuttaa ennen kaikkea sideaineen tasainen jakautuminen päällysteen pinnassa. Sideainekonsentraation epätasaisuus sekä päällysteen pinnan tasossa että z-suunnassa aiheuttaa päällystekerroksen pinnalle pienimittakaavaisia pintaenergia- ja absorptiokykyvaihteluja ja edelleen pinnan epätasaista kastumista sekä epätasaista painoväriabsorptiota /49,74/.

Ganen tekemien tutkimusten perusteella /33/ sideainevaellus ei yksinään aiheuta mottlingia vaan siihen vaikuttavat myös pinnan karheus sekä päällysteen paksuuden vaihtelu, rakenne ja peittävyys, joskin niiden merkitys pienenee päällystemäärän lisääntyessä. Jos päällysteen pinta tiivistyy kalanteroitaessa huomattavasti, paikalliset vaihtelut päällysteen painoväriin vastaanottokyvyssä saattavat korostua ja mottling-riski kasvaa.

9.6. Mittausmenetelmiä painettavuuden arvioimiseksi

Paperin tärkeitä ominaisuuksia painettavuuden kannalta todettiin edellä olevan huokoisuus, absorptio-ominaisuudet ja karheus. Ongelmana ovat yleisesti käytetyt testimenetelmät, jotka eivät kuvaa tarpeeksi hyvin painoprosessia.

Karheus on kuituverkoston rakenteesta johtuvaa epätasaisuutta. Pintasileydenmittauksessa ilmavirtaukseen perustuvat menetelmät ja pinta-alakosketusta mittaavat menetelmät eivät pysty kuvastamaan paperin karheusrakennetta. Menetelmät ovat lähinnä suuntaa antavia, elleivät ne myös määrittele karheusrakenteen suureita. Ilmeisesti karheuden mittausmenetelmissä käytetyt paineet ovat liian suuria fleksopainopaperin mittaamiseen. Karheutta mitattaessa paperi litistetään kasaan, kun taas painatuksen aikana paperin pintaa ei puristeta. Kokoonpainuneilta pinnoilta ilmanvuotoperiaatteella mitatut karheusarvot eivät kuvaa hipaisukosketuksella tehdyn painojäljen tasaisuutta. Kokoonpuristuvuus määritetään kahdella eri puristuksella mitattujen sileysarvojen suhteena. Tulos on kuitenkin riippuvainen kokoonpuristuvuuden ohella karheusprofiilista /107/. Kokoonpuristuvuuden mittaus laboratorio-oloissa antaa virheellisen tuloksen, koska paperi on viskoelastinen materiaali eli kokoonpuristuvuus riippuu ajasta. Painonipissä aikakomponentin merkitys taas on mitätön.

Korkea Bendtsen tai Parker Print Surf (PPS) merkitsee karheaa pintaa. Näissä ilmavirtausperiaatteella toimivissa mittalaitteissa painottuu suurten huokosten merkitys ja niihin vaikuttavat karheuden syvyys ja kokojakauman lisäksi paperin kokoonpuristuvuus /107/. Joustavalla alustalla mitattavaan PPS-karheuteen vaikuttaa samalla tavalla koko pinnan karheus, kun taas Bendtsen karheuteen vaikuttaa korostetusti paperin paksuimpien kohtien karheus. Kapeamman renkaan ja pehmeän alustan ansiosta PPS-mittari kykenee erottamaan

pienemmät sileysvaihtelut ja huokoisuuden aiheuttama mittausvirhe on pienempi kuin Bendtsen-mittarilla. Karheusmittauksista parhaimmaksi fleksopainatuksen kuvaajaksi osoittautui Parker Print Surf /50/. Toistaiseksi painattussimulaattorit ovat kuitenkin parhaita paperin sileysmittareita /12/.

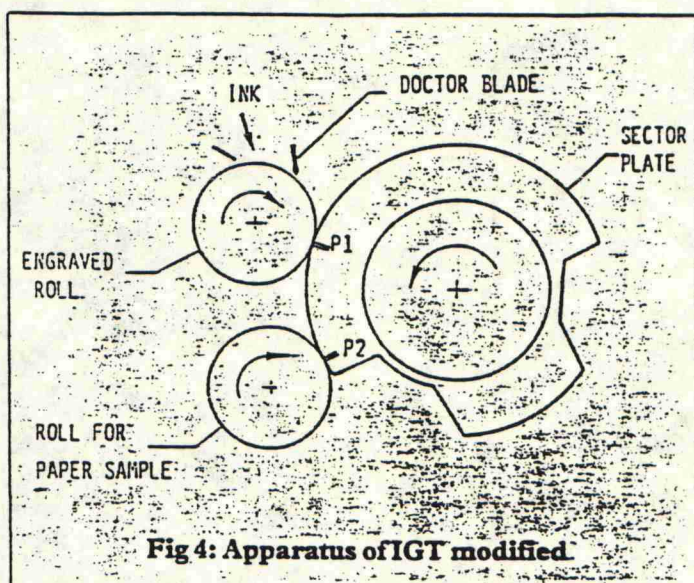
Huokoisuutta kuvaavat huokossäde, huokostilavuus ja huokosten suuntajakauma. Huokoiselle paperille on tyypillistä alhainen tiheys ja alhainen Gurley /103/.

Absorptio tarkoittaa paperin imemää nesteen määrää. Yleisiä mittausmenetelmiä ovat Cobb, Unger, pisarakoe, K&N ja IGT, joista viimeksi mainittu on ehkä kaikista selkein. Paperin rakenneominaisuuksista K&N:ään vaikuttaa karheus ja huokoisuus, ja Ungeriin vaikuttaa vain huokoisuus /19/. K&N-värillä suoritettut mittaukset ovat suuntaa antavia ja vaativat lukuarvon lisäksi visuaalisen tarkastelun tasaisuuden arvioimiseksi. Sitä vastoin mottlingin herkkyyttä K&N-painoväriabsorptio kuvaa melko hyvin ja se sopiikin laadun valvontaan ja piilevien päällysteen rakenteen virheiden paljastamiseen /12/. Toisaalta taas esimerkiksi Oittinen on esittänyt /68/ ettei K&N kuvaa luotettavasti painatuksessa tapahtuvaa absorbtiota.

Mitattaessa materiaalin soveltuvuutta fleksopainatukseen varmimman tuloksen antaa koepainatus. Aina ei kuitenkaan ole mahdollisuutta koepainatukseen pilotkoneella ja puutteen korjaamiseksi on Ranskassa hiljattain tutkittu mahdollisuutta mitata kartongin fleksopainettavuutta IGT-laitteella /113/.

Kuvassa 25. on esitetty mittauksen periaate. Isoa sektoriosaa on käytetty vastasyntinterinä yhdelle tai kahdelle painosylinterille. Ylempi sylinteri on raste-roitu värinsiirtotela ja alemmasta sylinterissä on painettava näyte. Sektoriosaan on kiinnitetty fotopolymeerilevy, jonka kovuus on 48 Sh. Painoväri on vesi-pohjainen. Laitteen antamia tuloksia verrattiin pilot-

koneella tehtyihin koepainatuksiin ja todettiin tuloksien olevan yhtäpitäviä /113/. Ruotsissa puolestaan ASSI on käyttänyt Kelva-nimistä laboratoriomittaista flexopainolaitteistoa.



Kuva 25. Fleksopainettavuutta mittaava laite /113/.

10. KIRJALLISUUSOSAN YHTEENVETO

Kirjallisuuden avulla tarkasteltiin teräpäällystykseen, soft-kalanterontiin ja fleksopainatukseen vaikuttavia tekijöitä. Erityisesti tarkastelun kohteena oli kartongin merkitys eri prosesseissa.

Teräpäällystettäessä liimattuja laatuja suurilla nopeuksilla absorptio-ominaisuuksilla ei ole suurtakaan vaikutusta päällysteen laatuun. Pohjakartongin ominaisuuksien tasaisuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Karheudella on pohjakartongin osalta merkittävin vaikutus päällystemäärään ja saavutettavaan laatuun. Hyvän sileyden ja peittävyuden aikaansaamiseksi pohjan karheuden tulee olla tarpeeksi pieni. Teräkaavauksen jälkeen päällysteen pinta on tasainen. Ennen kuivatusta ja kuivatuksen aikana päällyste kuitenkin vajoaa pohjakartongin huokosiin ja päällyste myös kutistuu jonkin verran, jolloin pinnan epätasaisuus kasvaa.

Veden imeytymistä pastasta pohjakartonkiin voidaan säädellä pastan osalta sen vesiretention ja jähmettymiskuiiva-ainepitoisuudella. Päällystyspastalla vesiretention tulee olle tarpeeksi korkea ettei pastan kuiva-ainepitoisuus nouse liiaksi ennen terää. Jähmettymiskuiiva-ainepitoisuuden tulee olla mahdollisimman alhainen, kuitenkin niin ettei päällyste jähmety ennen terää tai terän alla.

Päällysteen ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa pigmentin ja sideaineen ominaisuuksilla, sekä pigmentin, sideaineen ja huokosten jakautumisella päällysteessä. Pigmentin hiukkaskoon laskiessa valonsirontakerroin, opasiteetti, vaaleus, kiilto, huokosmäärä, painoväriin absorptiokyky ja sideainetarve kasvavat. Yleisin pigmentti on kaoliini johtuen sen levymäisestä muodosta ja inertistä luonteesta. Kalsiumkarbonaattia käytetään yleisesti lisäpigmenttinä kaoliinipastassa sen reologisten ominaisuuksien ja korkean vaaleuden vuoksi.

Rajoittavana tekijänä on kalsiumkarbonaatin hajoaminen happamassa ympäristössä.

Sideaineen tehtävänä on antaa päällysteeseen lujuutta sitomalla pigmenttipartikkeleita toisiinsa ja paperin pintaan. Sen määrän tulisi olla mahdollisimman pieni tarvittavan lujuustason saavuttamiseksi, koska se heikentää optisia ja painettavuusominaisuuksia. Latekseja käytetään niiden pienen vaellustaipumuksen ja hyvien reologisten ominaisuuksien vuoksi.

Soft-kalanterointi vaikuttaa vain rainan pintaosiin ja sillä saadaan rainaan tasainen tiheysjakauma. Tiettyyn sielyteen kalanteroitaessa soft-kalanterilla saavutetaan muihin menetelmiin verrattuna parempi bulkki ja paremmat painettavuusominaisuudet.

Fleksopainatuksessa karheudella on tärkein merkitys painotulokseen. Karheuden pienentäminen parantaa kontaktia painonipissä ja painojäljen tummuus, kiilto sekä tasaisuus paranevat. Kokoonpuristuvuuden kasvulla voidaan karheuden heikentävää vaikutusta kompensoida. Painojäljen kannalta on edullista nopea, mutta pieni absorptio, mikä saavutetaan päällysteen pienellä huokoskoolla. Fleksopainatuksessa käytettävän pienen nippipuristuksen vuoksi paksuuden tulisi olla tasainen.

Hyvässä päällysteessä on tasainen sideainejakauma, paljon pieniä huokosia ja hyvä sileyys. Painoväriabsorptioon vaikuttaa lähinnä huokoisuus, mikrokarheus ja pintaenergia. Paljon pieniä huokosia sisältävän paperin pintaan painoväri tunkeutuu nopeasti, mutta ei tunkeudu liian syvälle. Pinnan sileyden kasvaessa hyvään painotulokseen tarvittava painoväri määrä laskee, jolloin rasteripisteiden leviäminen vähenee ja yksityiskohtien toisto paranee. Toisaalta taas päällystämättömällä pinnalla painoväri kuivuminen on nopeata eikä siinä esiinny tahriintumista. Päällystyksessä ja päällysteen kuivauksessa on kiinnitettävä huomiota sideainevaellukseen, joka aiheuttaa helposti

vaihteluja painoväriabsorptiossa. Varsinaisia päällysteen aiheuttamia ongelmia ovat päällysteen viallisuudet ja heikko sitoutuminen, jotka aiheuttavat painovärittömiä kohtia ja likaongelmia.

Painokoneen kannalta eniten painotulokseen vaikuttavana tekijänä oli nippipuristus, joka vaikuttaa painolevyn tunkeutumiseen paperin epätasaisuuksiin. Puristuksen ollessa liian suuri pisteet leviävät ja tummapää tukkeutuu. Nipin leveyden alueella syntyy kontaktia vain painavilla pinnoilla. Tämän vuoksi puristus vaihtelee nipissä, jonka seurauksena syntyy värinsiirron vaihteluja ja sitä kautta painojäljen epätasaisuutta.

11. KOKEELLISEN OSAN TAVOITTEET

Kokeellisen osan tavoitteena on selvittää pohjakartongin vaikutus päällystykseseen ja painettavuuteen valko-pintaisella kraftlainerilla. Tarkoituksena on selvittää miten laatuvaihtelut vaikuttavat lopputulokseen ja miten päällystyksellä ja soft-kalanteroinnilla voidaan edesauttaa mahdollisimman korkean laadun muodostumisessa.

Kokeellisessa osassa keskitytään pohjakartongin laatu-vaihteluiden osalta selvittämään karheuden ja absorptio-ominaisuuksien vaikutusta lopputuotteen laatuun. Karheuden valinta muuttujaksi oli itsestään selvää, koska se vaikuttaa voimakkaimmin tarvittavaan päällystemäärään. Absorptio-ominaisuudet valittiin, koska laineri on pintaliimaamatonta ja koneen nopeus on hitaampi kuin paperikoneiden, joilla saatuja tuloksia käsiteltiin kirjallisuusosassa. Täten absorptio-ominaisuuksilla saattaa olla vaikutusta lopputuotteeseen.

Päällystyspastan osalta muuttujia olivat päällystemäärä ja kalsiumkarbonaatin suhde kaoliiniin. Päällystemäärän osalta haluttiin varmistaa, että tuotannossa tullaan liikkumaan oikealla päällystemääräalueella. Kalsiumkarbonaatin käytöllä haetaan päällysteen korkeaa peittävyyttä ja hyvää painojälkeä.

Soft-kalanteroinnissa muuttujana oli viivapaine, jonka osalta haettiin vaikutusta pinnan rakenteeseen ja optisiin ominaisuuksiin. Varsinaisten päällystyskokeiden koesuunnitelma on liitteessä 5.

12. LABORATORIOKOEISSA KÄYTETYT MENETELMÄT

Kokeellisen osan tulosten analysoinnissa käytetyt standardimenetelmät on esitetty liitteessä 6. Lähinnä Keskuslaboratoriossa tehtyjen erikoismittausten periaatteet on esitetty seuraavissa liitteissä: profiilikarheuden mittaus liite 7., suulakelevitys liite 8., painojäljen epätasaisuus liite 9. ja formaation mittaus liite 10.

13. ESIKOKEET

13.1. Laatuvaihteluiden määrittäminen ja eri mittausmenetelmien vertailu

Päällystyksen kannalta tärkeiden WT-lainerikartongin laatuvaihteluiden selvittämiseksi määritettiin laaturaportteista eri ominaisuuksien vaihtelurajat ja vastanäytteistä tehtiin lisäksi tarkistusmittaukset sekä joitain erikoismittauksia. Tavoitteena oli myös selvittää eri tekijöiden välisiä korrelaatioita, jolloin nähtiin myös miten paljon eri ominaisuudet muuttuivat jonkun ominaisuuden pysyessä vakiona. Eri ominaisuuksien vaihteluväli pyrittiin saamaan mahdollisimman suureksi, jolloin periaatteessa liikuttiin aina jossain suhteessa prosessin äärioloissa. Tällöin kuitenkin jouduttiin siihen tilanteeseen, että jokainen koepiste oli tavallisuudesta poikkeava ja samaakin ominaisuutta mittaaville suureille saatiin suurehkoja vaihtelut.

13.1.1. Mittausten suoritus

Vastanäytteitä kerättiin ajalta 17.10.1989 - 15.2.1990 150 g/m²:n White Topista. Koepisteitä oli 37 ja testattavia arkkeja kaksi kappaletta koepistettä kohden.

Sileyksiä mitattiin Bendtsenillä, PPS 10:llä ja PPS 20:llä, joista kahden viimeksi mainitun avulla saatiin määrittetyksi myös kokoonpuristuvuus. Huokoisuus määritettiin koko kartongista sekä erikseen kartongin pintakerroksesta. Absorptio-ominaisuuksista mitattiin Cobb, Cobb-Unger ja K&N. Lisäksi mitattiin neliömassa, paksuus ja tiheys.

13.1.2. Laatuvaihtelukokeiden tulokset

Liitteessä 11. on esitetty tulokset arkkikohtaisesti, sekä niistä lasketut keskiarvot. Hajontoja ei ole ilmoitettu, koska koepistettä kohden oli vain kaksi arkkia.

Sileys vaihteli Bendtsenillä välillä 492 - 1453 ml/min ja PPS 10:llä 7,5 - 8,5 μ m. Bendtsen ja PPS 10 korreloivat melko hyvin, mutta pinnan karhetessa hajonta kasvoi. PPS 20:een verrattaessa tilanne oli hyvin pitkälle samantapainen. PPS 10 ja PPS 20 korreloivat keskenään erittäin hyvin.

Aikaisemmin Kemi Oy:ssä saatujen tuloksien tapaan Bendtsen parani tiheyden kasvaessa ja suuntaus oli melko selvä. **Kokoonpuristuvuus** määritettiin laskennallisesti kahdella eri tavalla PPS-sileyksistä. Näin saadut absoluuttinen ja suhteellinen kokoonpuristuvuus mittaavat käytännöllisesti katsoen samaa ominaisuutta. Kokoonpuristuvuudessakin trendi oli melko selvä eli sileyden parantuessa kokoonpuristuvuus kasvoi, mutta hajonta oli varsin suuri. Esimerkiksi sileystasolla 800 ml/min kokoonpuristuvuus vaihteli välillä 0.1 - 0.16, kun kokonaisvaihtelu oli 0.08 - 0.17. Määritetyistä ominaisuuksista kokoonpuristuvuus korreloi sileyksien ja tiheyden kanssa. Yllättävää oli, että kokoonpuristuvuuden maksimi saavutettiin tiheimmillä näytteillä.

Sileyden kehittymisellä ei havaittu olevan selvää yhteyttä absorptio-ominaisuuksiin ja huokoisuteen.

Huokoisuuden vaihteluväli oli 60 - 150 s/100 ml ja erikseen pinnasta mitattu huokoisuus vaihteli välillä 20 - 60 s/100 ml. Huokoisuus korreloi pinnan huokoisuuden kanssa melko hyvin, joskin mukana oli pari "hajottavaa" pistettä, mitkä johtunevat kerrosten irrottamisen epätarkkuuksista. Kokonaishuokoisuuden ja pinnan huokoisuuden hyvä korrelaatio selittyyneen sillä, että pidemmälle jauhetun pintamassan huokoisuus on määräävä koko kartongin läpäisevää ilmaa mitattaessa.

Huokoisuuden pienentyessä absorptio oletetusti pieneni kaikilla mittausmenetelmillä. Vedellä suoritettun Cobbmittauksen mukaan Cobbin ollessa suuri eli massaliimauksen pieni oli huokoisuus korkea. Cobbin alentuessa normaalitasolle se ei enää selitä huokoisuuden vaihteluita.

Öljymäisiin aineisiin perustuvat Cobb-Unger ja K&N korreloivat melko hyvin huokoisuuden kanssa ja Cobb-Unger korreloi pinnan huokoisuuden kanssa vielä hiukan paremmin.

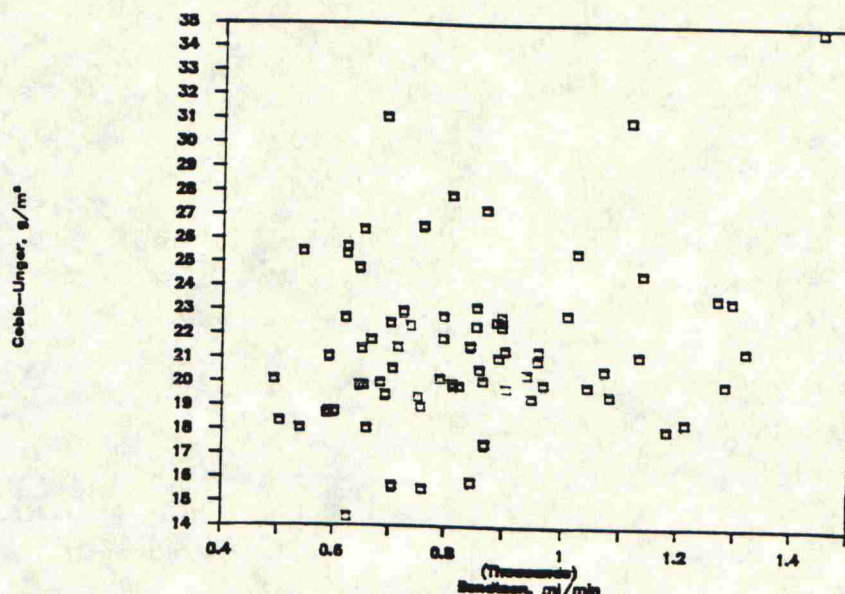
Absorptio-ominaisuuksien välillä oli yllättävän heikohko korrelaatio. Cobb-Ungerilla on lievä vastaavuus K&N ja Cobbin kanssa, mutta Cobb ja K&N mittaavat täysin eri ominaisuutta.

Tiheyden kasvaessa sekä Bendtsen että PPS 10 paranivat. Samoin huokoisuus ja pinnan huokoisuus pienenivät tiheyden funktiona. Absorptio-ominaisuuksiin tiheys ei vaikuttanut.

13.1.3. Johtopäätökset

Kokeiden tulokset on saatu vertaamalla keskenään eri ajankohdissa ja erilaisissa prosessiolosuhteissa saatuja näytteitä, jolloin esimerkiksi vakio sileydellä vaihtelut ovat yllättävänkin suuria. Tämän perusteella huomataan, että vain harvat mittaukset korreloivat voimakkaasti keskenään, vaikka kirjallisuuden mukaan monet ominaisuudet korreloivat hyvin liikuttaessa lähes vakio-olosuhteissa (esim. kalanteroinnin muutoksissa).

WT:n normaalilla karheustasolla Bendtsenillä ja PPS:illä saadaan yhtäläisiä tuloksia, jolloin voidaan käyttää kumpaa tahansa. Näyttäisikin siltä, että Bendtsen on käyttökelpoisempi suurissa yli 600 ml/min karheuksissa ja PPS soveltuisi mitataessa tätä pienempiä Bendtsen-karheuksia. Joka tapauksessa Bendtsen joudutaan säilyttämään PPS:n rinnalla, koska PPS:ää ei ole vielä tuotantopuolella totuttu käyttämään. Sen sijaan huokoisuudesta ja absorptio-ominaisuuksista ei voi tehdä päätelmiä sileyden perusteella. Esimerkiksi 600 ml/min Bendtsen-karheudessa Cobb-Unger vaihteli kuvan 26. mukaan välillä 16 - 26 g/m².



Kuva 26. Pohjakartongin absorptio-ominaisuus karheuden funktiona.

PPS 10:llä ja PPS 20:llä saadaan yhtäläisiä tuloksia, mutta kokoonpuristuvuuden määrittämiseksi tarvitaan molemmat PPS-sileydet. Suhteellinen ja absoluuttinen kokoonpuristuvuus antavat identtisiä tuloksia, mutta hieman laajemman skaalan ansiosta suhteellinen kokoonpuristuvuus lienee parempi.

Huokoisuus korreloi pinnan huokoisuuden kanssa riittävän hyvin, joten pelkkä huokoisuuden mittaus riittää. Öljymäisiin aineisiin perustuvia absorptio-ominaisuuksia huokoisuus kuvasi melko hyvin. Cobb-Unger on silti syytä määrittää, koska se kuvaa myös huokostilavuutta. K&N-testi voidaan jättää määrittämättä päällystämättömillä laaduilla, koska se antaa samansuuntaisia tuloksia Cobb-Ungerin kanssa ja lisäksi se on tarkoitettu kuvaamaan lähinnä painoväriin absorptiota.

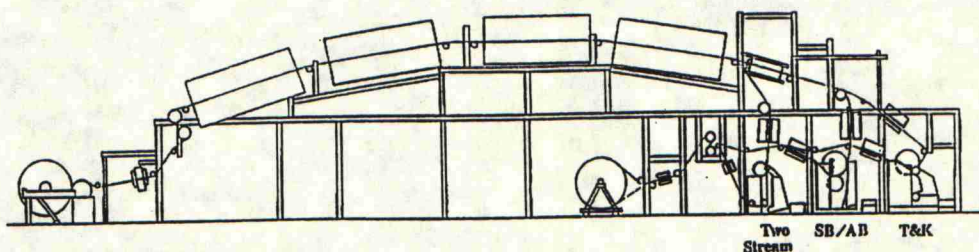
Varsinaisiin päällystyskoeajoihin tarvittavien näytteiden valinnassa käytetään edellä mainitun tarkastelun perusteella sileyden kriteerinä Bendtsen-sileyttä ja absorptio-ominaisuuksien kriteerinä Cobb-Ungeria.

13.2. Koepäällystys

Esikokeena käytetyn päällystyskoeajon päätavoitteena oli määrittää tuotantoon tulevan Auto Blade-päällystimen teräkulman vaikutus päällystemääriin ja ajettavuuteen. Kokeiden tuloksia voitiin kuitenkin käyttää tämän diplomityön kannalta hyödyksi tarkastelemalla päällystemäärän ja kalanteroinnin vaikutusta lopputuotteen laatuun, sekä vertailemalla fleksopainatustuloksia varsinaisen päällystyskoeajon tuloksiin. Pohjakartonkina käytettiin 125 g/m² White Topia, joka oli varsin karheata.

13.2.1. Kokeissa käytetty laitteisto ja pastakoostumus

Koeajopaikkana oli Valmetin Järvenpään tutkimuskeskus. Kokeet suoritettiin kuvan 27. esittämällä metrin levyisellä Valmetin Auto Blade-pilot päällystysyksiköllä nopeudella 800 m/min. Ennen päällystysasemaa rataa esilämmitettiin sähköinfralla lämpötilaan 35 °C, jotta se vastaisi paremmin todellista tilannetta koneella. Kuivatuksessa simuloitiin koneuusinnassa asennettavia infroja kahdella infrapunakuivaimella ja loppukosteuden säätö tapahtui neljällä leijukuivattimella.

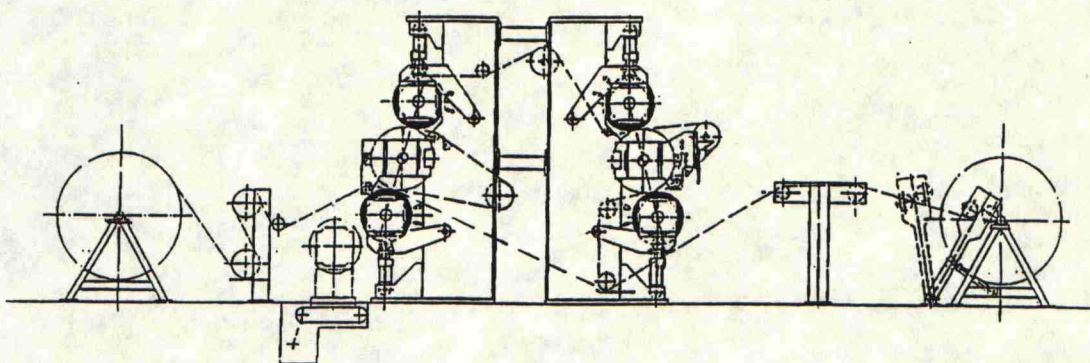


Kuva 27. Päällystyskokeissa käytetty Valmetin Auto Blade pilotlaitteisto /16/.

Käytetyn pastan kuiva-ainepitoisuus oli 62 %, pH 8, Brookfield 100 viskositeetti 1250 - 1540 mPas. Pasta sisälsi 70 osaa SPS kaoliinia, 30 osaa HC-90 kalsiumkarbonaattia, 1 osa Finn Fix - 5 CMC:tä, 15 osaa Dow 685 SB-lateksia sekä 0,5 osaa Parex 707 märkälujahartsia ja Nopco C104 Ca-

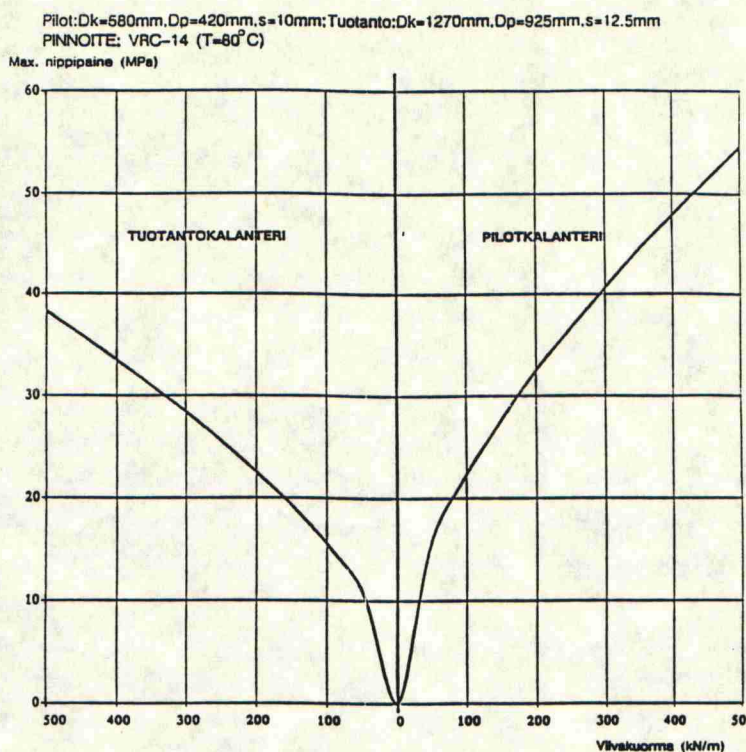
stearaattia. Pastan reologiset ominaisuudet olivat huonohkot, mikä aiheutti jonkun verran viiruja.

Päällystyksen jälkeen rullat kalanteroitiin SC 2000 -soft-kalanterilla (off-line). Myös kalanteroinnissa käytettiin 800 m/min nopeutta ja ennen nippiä rata lämmitettiin esilämmitysteloilla. Käytetyn vastatelan kovuus oli 88 Shore D. Laitteiston aktiivisina hallintasuureina käytettiin viivapainetta, terästelan lämpötilaa ja höyrytystä. Kalanterin periaate on esitetty kuvassa 28., jossa on kuvattu myös radan vienti ensimmäisestä nipistä suoraan kiinnirullaukseen.



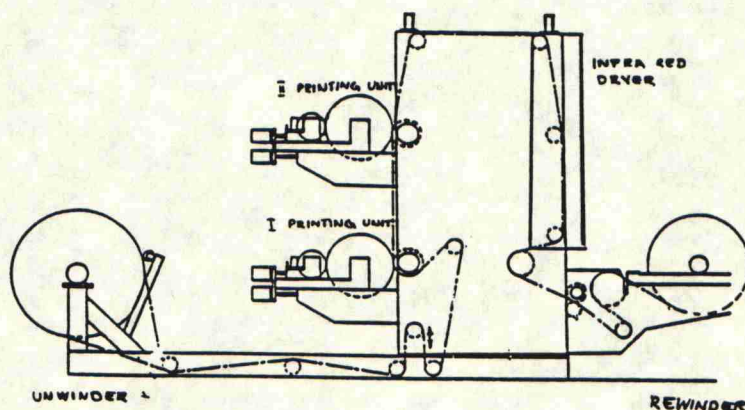
Kuva 28. Pilot-kalanteri SC 2000, jossa ylempänä telana on terästela ja alempana soft-tela /16/.

Pilot-kalanteroinnin tuloksia sovellettaessa käytäntöön on huomioitava tietyllä viivakuormalla saavutettu nippipaine. Pilot-kalanterilla esimerkiksi 100 kN/m viivakuorma vastaa kuvan 29. mukaan nippipaineeltaan 200 kN/m viivakuormaa tuotantokalanterilla. Syynä tähän on lähinnä erot telojen halkaisijoissa, joka taas vaikuttaa nipin pituuteen.



Kuva 29. Pilot- ja tuotantokalanterin nippipaineet viivakuorman funktiona /118/.

Osa päällystetyistä ja kalanteroiduista näytteistä koepainettiin Keskuslaboratoriossa kuvan 30. flekso-koepainokoneella. Painatusnopeus oli noin 150 m/min ja käytössä olleen ensimmäisen painoyksikön nippipaine 250 N. Painoväarin kuivatuksessa käytettiin infrapunakuivattimella tehoa 14,7 kW. Painokoneen ominaisuudet on esitetty liitteessä 12.



Kuva 30. Koepainolaitteistona käytetty pre-print flekso-painokone /118/.

13.2.2. Koeajon hallintasuureet

Koerullien päällystemäärää muuteltiin teräkulmilla 15, 20 ja 40 astetta. Jokaisella teräkulmalla päällystemäärää vaihdeltiin vielä teräkuormituksella. Kuivausoloja säädeltiin muuttamalla infrapunakuivaimen tehoja sekä muuttamalla leijukuivainten lämpötilaa ja ilman puhallusnopeutta.

Kalanteroinnissa haettiin ensin kokeilemalla sopiva viivapaine ja öljyn lämpötila, joilla loput koepisteet käsiteltiin. Kalanterin terästelan vaipassa kierrätetyn öljyn lämpötila oli joko 120 ° tai 170 °C, jolloin telan pintalämpötilaksi saatiin noin 110 ° ja 150 °C. Viivakuormaa muuteltiin välillä 50 - 250 kN/m, jolloin nipin kuormituspainne vaihteli välillä 35 - 89 bar. Kokeiden perusteella muiden näytteiden kalanterioloiksi valittiin viivapaine 150 kN/m (62 bar) ja terästelan lämpötila 150 °C.

Höyryn käyttöä kokeiltiin tasoilla 8, 13 ja 21 kg/h/m. Radan lämpötila oli ennen nippiä noin 40 °C.

13.2.3. Koepäällystyksen tulokset

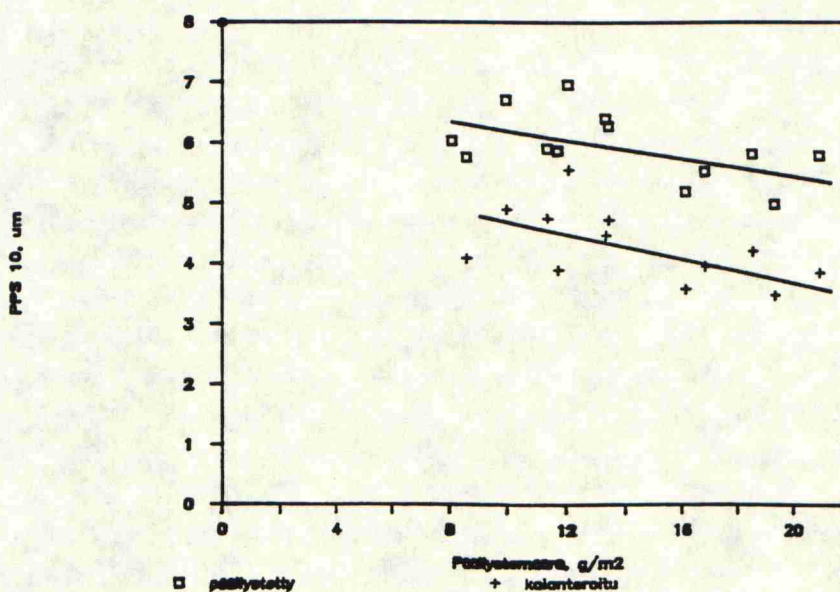
Pohjakartongin mittaustulokset ovat liitteessä 13. Liitteessä 14. on päällystetyn kalanteroimattoman kartongin mittaustulokset.

13.2.3.1. Päällystyksen vaikutus

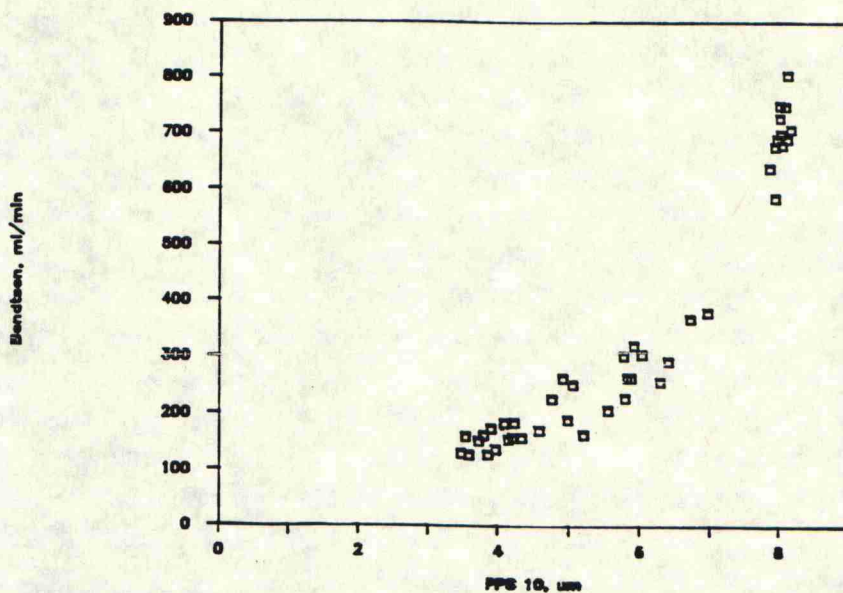
Teräkulman pienetessä sekä maksimi että minimi päällystemäärä nousivat. Teräkulmalla 40 ° saavutettiin alle 8 g/m² taso, pienennettäessä kulma 20 ° minimitaso nousi yli 9 g/m² ja kulmaa edelleen pienennettäessä minimitaso oli 15 asteessa 13 g/m². Minimi päällystemäärällä esiintyi kalanteroimattomien kartonkien pinnassa laikukasta kiiltoa, mikä johtunee pinnan kohouminen kiillottumisesta terän alla. Pienillä kulmilla tarvittiin liian suurta kuormitusta jotta olisi saavutettu riittävän alhainen päällyste-

määrä. Suurilla, noin 10 mm, kuormilla ongelmana oli viirujen ja teräparran muodostuminen. Myös terän hallittavuus heikkeni. Päällystimen kuormituksen optimialue on 3 - 8 mm, joka saavutetaan tavoitepäällystemäärällä 12 - 15 g/m² teräkulmilla 20 - 30 °.

Sileys paranee melko huonolta pohjakartongin sileystasolta 700 ml/min Bendtsen tasolle 300 ml/min. PPS 10 paranee samalla 8 um:sta 6 um:iin, kuva 31. Verrattaessa Bendtseniä ja PPS 10:tä keskenään voidaan kuvasta 32. huomata, että alhaisemmilla (alle 400 ml/min) sileyksillä PPS 10:llä saadaan suhteessa suurempia eroja eri pisteiden välille. Tuloksien perusteella pienimmällä teräkulmalla (15°) saadaan paras sileys tietyllä päällystemäärällä, mutta tätä suuremmilla teräkulmilla ei syntynyt mainittavia sileyseroja. Päällystettäessä kokoonpuristuvuus nousi yli puolella, joissain tapauksissa kokoonpuristuvuus jopa kaksinkertaistui. Päällysteen määrällä ei näytä olevan suurta merkitystä kokoonpuristuvuuteen. Päällystemäärän funktiona profiilikarheus kehittyy samansuuntaisesti PPS 10:n kanssa, eli profiilikarheus pienenee päällystemäärän noustessa.

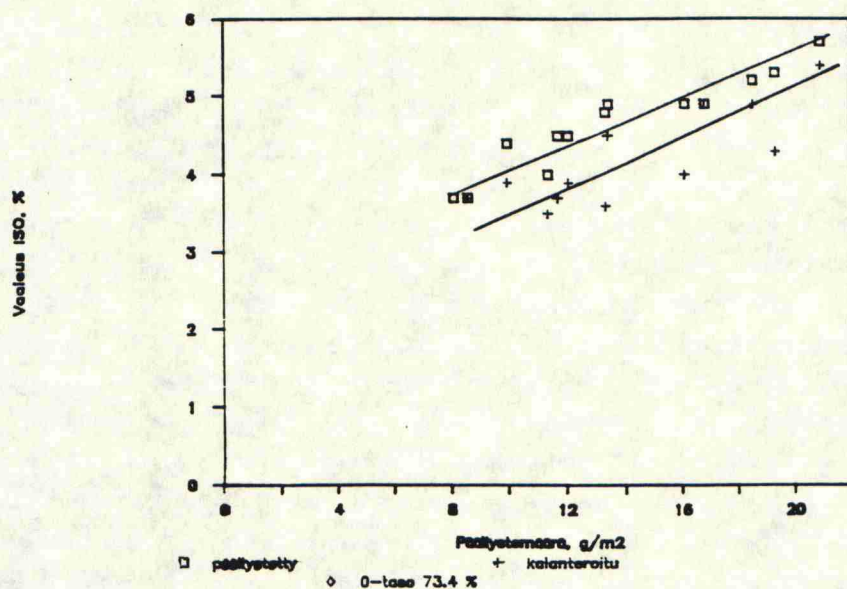


Kuva 31. Päällystemäärän vaikutus PPS 10 karheuteen kalanteroimattomalla ja soft-kalanteroidulla kartongilla (150 °C, 150 kN/m).

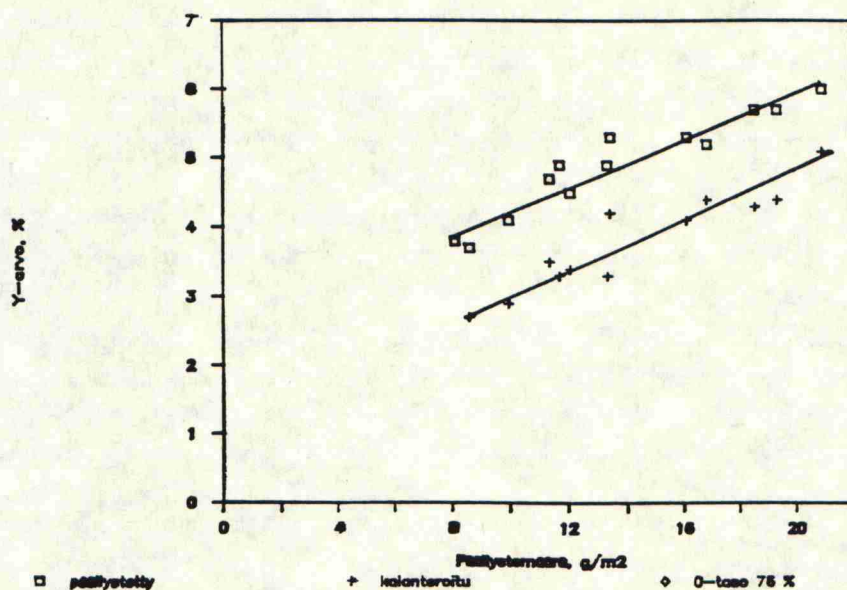


Kuva 32. Bendtsenin ja PPS 10:n välinen korrelaatio.

Päällystemäärän kasvaessa **optiset ominaisuudet** paranivat. Vaaleus kasvoi suoraviivaisesti kuvan 33. tavoin, parhaimman vaaleuden ollessa ennen kalanterointia 79 % ISO (päällystämättömällä noin 73,5 %). Muutamien kymmenyksien vaaleuserot selittyvät pohjakartongin vaaleusheitoilla. Jos vaaleustavoitteena pidetään 78 %, saavutettiin se parhaimmillaan 11,2 g/m² päällystemäärällä pohjapaperin vaaleuden ollessa 73,5 %. Myös Y-arvon kasvu oli suoraviivaista. Se nousi 76 %:sta jopa 82 %:iin, kuten kuvassa 34. on esitetty.



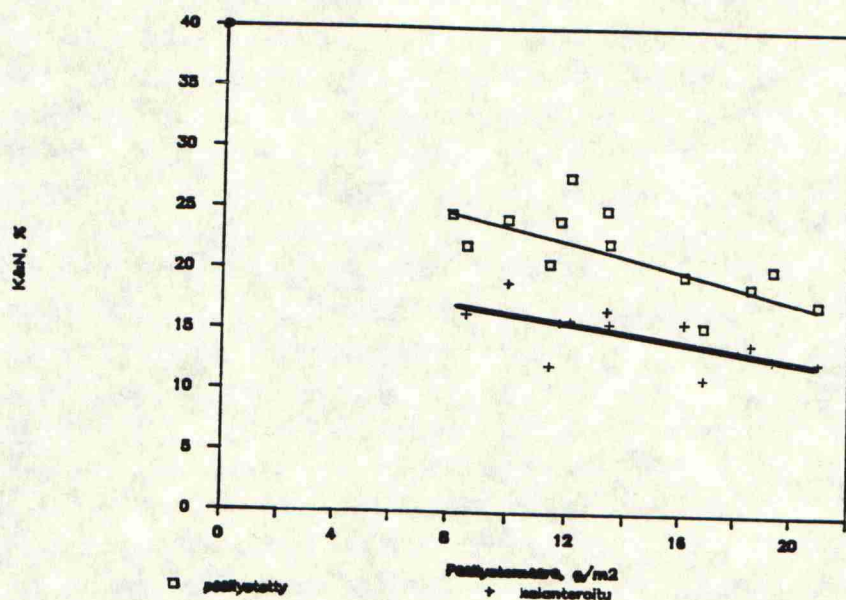
Kuva 33. Päällystemäärän ja kalanteroinnin vaikutus ISO-vaaleuteen, nollataso 73,4 %.



Kuva 34. Päällystemäärän ja kalanteroinnin vaikutus Y-arvoon, nollataso 76 %.

Absorptio-ominaisuudet pienenevät päällystemäärän noustessa, mikä johtuu osittain sileyden parantumisesta ja päällystetyllä laadulla K&N korreloikin Bendtsenin kanssa. Pienillä päällystemäärillä K&N vaihtelee voimakkaasti (kuva 35.), mikä oletettavasti johtuu päällysteen huonosta peittävyvyydestä. Päällystämättömän pinnan laatua K&N kuvaa vain huonosti, mikä johtuu K&N arvojen pienistä eroista

ja suuresta karheudesta. Sen sijaan Cobb-Unger kuvaa paljon paremmin päällystämättömän pinnan laatua kuin päällystetyn. Pinnan Cobb 60 nousi päällystetyllä 26 g/m^2 , kun se päällystämättömällä oli 21 g/m^2 . Pohjan Cobb pysyi vakiona.



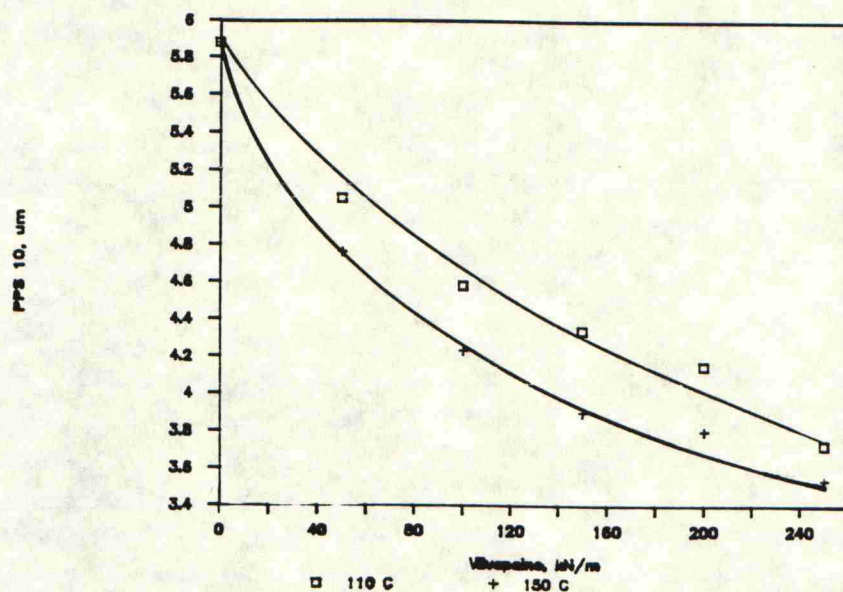
Kuva 35. Päällystemäärän ja kalanteroinnin vaikutus K&N-arvoon.

Lujuuksista Mullen nousi lähes kaikilla näytteillä noin 5 % ja poikkisuunnan RCT parani vähän yli 10 %. IGT-suomus-tuma laski tasolta 1,4 - 2,0 tasolle 0,4 - 0,6. Kitkakulma vakioitui tasolle 23 - 25°. Korkea kitkakulma pieneni, mutta pieni kitkakulma puolestaan kasvoi.

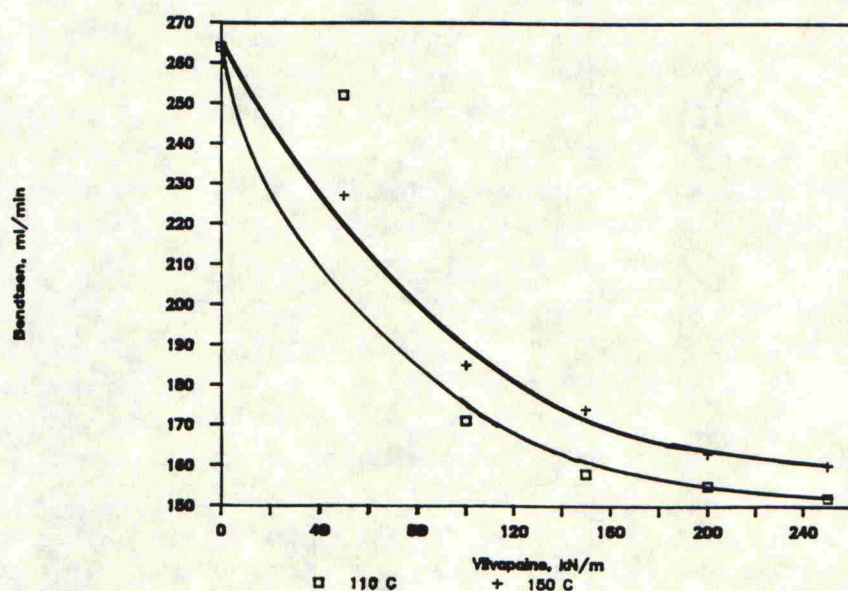
13.2.3.2. Kalanteroinnin vaikutus

Aluksi testattiin viivapaineen ja lämpötilan vaikutusta lopputuotteen laatuun. Saadut tulokset ovat liitteessä 15. (koepisteet 701 - 710). **Sileys** oletetusti parani pienillä viivapaineilla eniten. Yllättävää oli, että lämpötilan nosto antoi suuremman Bendtsen-karheuden suuremmilla viivapaineilla, kun taas PPS 10 sileys oli odotetusti korkeammalla lämpötilalla parempi (kuvat 36. ja 37.). Vastaava tulos saatiin verrattaessa sileyttä ja tiheyttä keskenään. Tietyssä tiheydessä saatiin matalammalla lämpötilalla parempi Bendtsen-sileys, kun taas PPS 10:llä

saatiin päinvastainen tulos. Tiheyden kasvu viivapaineen noustessa oli huomattavasti voimakkaampaa kuin lämpötilaa nostettaessa. Vastaavasti paksuus pieneni.



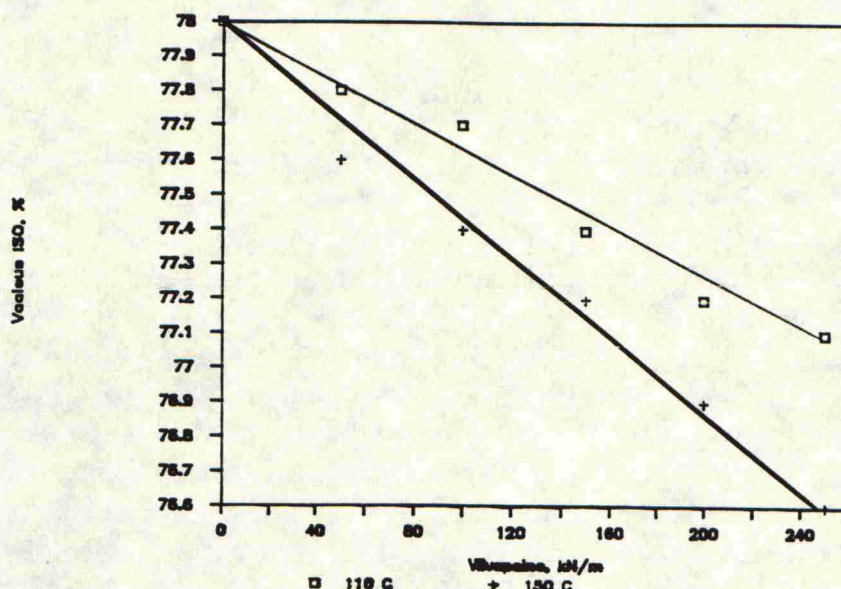
Kuva 36. Viivapaineen vaikutus PPS-karheuteen. Parametrina terästelan lämpötila.



Kuva 37. Viivapaineen vaikutus Bendtsen-karheuteen. Parametrina terästelan lämpötila.

Optisista ominaisuuksista vaaleus laski korkeammalla lämpötilalla hiukan nopeammin. Kuvasta 38. nähdään, että korkeimmalla viivapaineella vaaleuden alenema oli 1,4 %. Y-arvo laski enimmillään pari prosenttia. K&N pieneni

lähes suoraviivaisesti. Voimakkain lasku tapahtui kalanteroimattoman ja pienimmän viivapaineen välillä.



Kuva 38. Viivapaineen vaikutus vaaleuteen. Parametrina terästelan lämpötila.

Lujuudet pysyivät kutakuinkin vakiona kalanterioloja voimistettaessa. Kalanteroitaessa kitkakulma laski keskimääräiseltä tasolta 25° tasolta tasolle 22°.

Toinen koe tehtiin alkukokeiden perusteella valituissa vakio-oloissa viivapaineella 150 kN/m (62 bar) ja terästelan pinnan lämpötilalla 150 °C. Koesarjassa haluttiin tuoda esille päällystemäärän ja teräkulman vaikutus lopputuotteen laatuun. Koepisteet 711 - 723 ovat liitteessä 15.

Kalanteroitaessa PPS-sileyys pienenee suurin piirtein saman verran kuin pohjakartonkia päällystettäessä. Sileyden parantuminen PPS-yksiköissä on yhtä voimakasta riippumatta päällysteen alkuperäissileydestä (päällystemäärästä). 15 g/m² päällystemäärällä päästiin loppusileyteen 4 µm ja Bendtsenillä 140 ml/min. Absoluuttinen kokoonpuristuvuus pieneni enimmillään 0,3 µm PPS, mutta oli silti selvästi suurempi kuin pohjakartongin alkuperäinen kokoonpuristuvuus.

Kalanteroinnin seurauksena ISO-vaaleuden heikkenemistä selvemmin huononi Y-arvo, noin prosentilla. Vaaleudet

paranevat silti kalanteroinnin jälkeenkin lähes suoraviivaisesti päällystemäärän funktiona. K&N paranee myös päällystemäärän kasvaessa ja taso riippuu päällystysten jälkeisestä K&N arvosta. Kalanteroitaessa K&N:n lasku oli 4 prosentin luokkaa. Pinnan Cobb laski pari yksikköä.

Mullen laski kalanteroitaessa päällystetyn kartongin arvoista, mutta pysyi silti parempana kuin alkuperäinen Mullen. RCT:n heikkeneminen oli voimakkaampaa. Vaikka päällystys nosti RCT:tä laski se silti pohjakartongin tasolle tai alle sen. Palstaumaan kalanterointi vaikutti positiivisesti, nousun ollessa parhaimmillaan noin viidenneksen luokkaa. Kitkakulman pieneneminen oli voimakkaampaa kuin alkukokeissa. Nyt heikoimman tuloksen ollessa 18°.

Höyryn käyttöä kokeiltiin tasoilla 8, 13 ja 21 kg/h/m. Höyrytys vaikutti lähinnä vain pinnan sileyteen ja tiheyteen. Tiheys pieneni, sileys heikkeni ja kiilto parani höyrytystä voimistettaessa. Sileys laski 0,9 μm tasolle 5,4 μm PPS 10 ja kiilto parani 3 % tasolle 33,6 %. Tulokset ovat liitteessä 15. koepisteet 721-723. Noin 30 kg/h/m tasolla päällyste tarttui kiinni terästelan pintaan.

13.2.3.3. Koepainatus

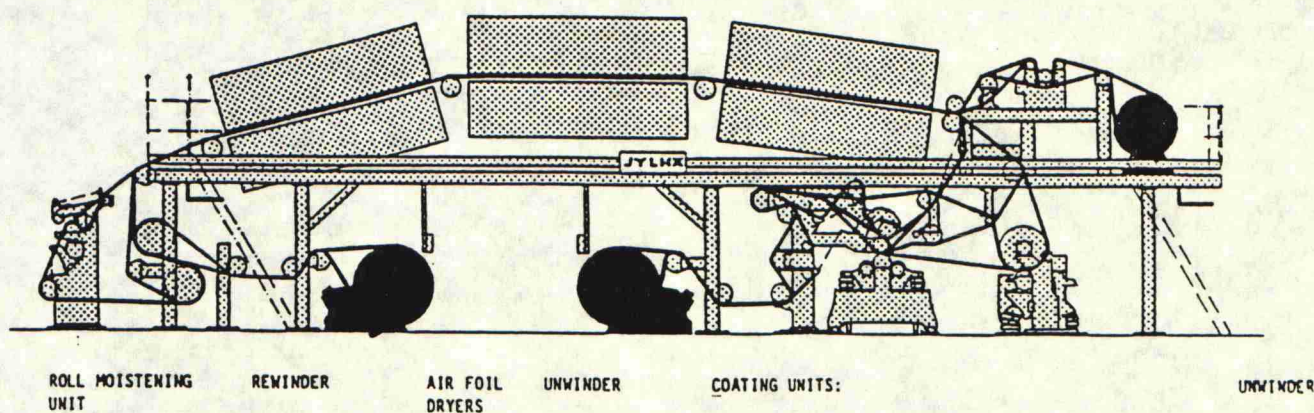
Keskuslaboratorion koepainokoneella saadut painatustulokset on esitetty liitteessä 16. Painatustuloksissa hajonnat ovat melko suuret, mikä johtuu osaksi teräkulman muutoksista. **Hunter**-kiillon maksimi, noin 30 %, saavutettiin päällystemäärällä 18 g/m². **Painojäljen** kiilto kasvaa suoraviivaisesti päällystemäärän funktiona, maksimin ollessa 52 %. Painojäljen kiilto korreloi melko hyvin profiilikarheuden ja kiillon kanssa. Päällystemäärällä ei ole juuri vaikutusta **densiteettiin**, tummilla pinnoilla densiteetti nousee hieman päällystemäärän noustessa. **Pisteen leviäminen** vähenee päällystemäärän kasvaessa melko jyrkästi, jonka seurauksena suhteellinen kontrasti paranee. Vastoin odotuksia painojäljen **laikullisuus** kasvoi päällystemäärän kasvaessa täyspeitteisellä pinnalla.

14. VARSINAINEN PÄÄLLYSTYSKOEAJO

Päällystyskoeajon päätavoitteena oli määrittää pohjakartongin laadun vaikutus lopputuotteen laatuun sekä päällystetyn kartongin laadun parantuminen kalanteroinnilla ja pastakoostumuksen muutoksilla.

14.1. Koelaitteisto

Kokeellisen osan varsinaiset koeajot suoritettiin Oy Keskuslaboratorio Ab:n pilot-laitteistoilla Espoossa. Päällystys suoritettiin Wärtsilän Surface Blade -päällystysyksiköllä. Rata kuivattiin infrapunakuivaimella ja sen jälkeen kolmella leijukuivaimella. Koneella on mahdollisuus on-line soft-kalanterointiin, joka sijaitsee kuvassa 39. esitetyn kostutuslaitteen tilalla. Koneen ominaisuuksia on esitetty tarkemmin liitteessä 17.



Kuva 39. Keskuslaboratorion pilot-päällystyslaitteisto /118/.

Koepainatus tapahtui samalla fleksopainokoneella kuin aikaisempikin koe. Painokoneen periaate on esitetty jo aikaisemmin kuvassa 29. ja tekniset ominaisuudet liitteessä 12., jossa ovat myös painovärin ominaisuudet. Painokoneen säätöön käytettiin 125 g/m² päällystettyä White Topia.

14.2. Koeajon hallintasuureet

Koeohjelma on esitetty liitteessä 5. Päällystyskokeissa käytettiin pienkulma teräpäällystintä. Koerullien tavoitepäällystemäärät olivat 10, 15 ja 18 g/m². Tällöin teräpaine vaihteli välillä 0,8 - 2,1 bar. Applikointitelan nopeus oli 70 m/min. Terä vaihdettiin aina rullan vaihdon yhteydessä. Kokeet suoritettiin nopeudella 700 m/min.

Leijukuivainten lämpötila oli alueella 180 - 210 °C ja puhallusnopeus 30 - 50 m/s. Kuivatuksen säätö tapahtui etupäässä muuttamalla puhallusnopeutta. Jähmepiste sijaitsi ensimmäisen leijukuivaimen loppuosalla. Pastareseptissä kaoliinin ja kalsiumkarbonaatin suhdetta muuteltiin kolmella tasolla. Reseptit ovat liitteessä 18.

Soft-kalanterin nippipuristuksina käytettiin 100 ja 150 kN/m sekä 150 °C lämpötilaa päällystetyille kartongeille. Konekalanteroimattomista pohjakartongeista kaksi ajettiin telakuormalla ja 70 °C lämpötilalla, ja kolmas nippipuristuksilla 150 kN/m ja 150 °C lämpötilalla. Pohjakartonkien kalanteroinnissa käytettiin lisäksi kevyttä höyrytystä, jolloin paine putkistossa oli noin 1 bar.

14.3. Pohjakartongin ominaisuudet

Päällystyskokeisiin pyrittiin saamaan mahdollisimman erilaisia pohjakartonkeja, jolloin saataisiin selville pohjakartongin vaikutus lopputuotteen laatuun. Koerullat pyrittiin ottamaan siten, että saataisiin sileä ja absorboiva; sileä ja heikosti absorboiva; karhea sekä konekalanteroimaton pohjakartonki. Pohjakartonkien PPS 10 vaihteli välillä 7.25 - 8.09 µm ja Cobb-Unger vaihteli välillä 15.5 - 26 g/m². Rullakohtaiset ominaisuudet ovat taulukossa 4.

Taulukko 4. Päälystyskoeajon kartongin ominaisuudet.

Rulla n:o	Bendtsen PPS 10 ml/min	CobbUnger μm	Cobb 60 g/m^2	Cobb 60 g/m^2
Sileä, absorboiva				
4	446	7.25	23	24
2	466	7.46	25.7	22
3	391	7.34	24.5	21
ka	434	7.35	24.4	22
Sileä, ei-absorboiva				
9	454	7.64	15.8	22
10	437	7.7	15.5	20
11	392	7.52	17.1	21
ka	428	7.62	16.1	21
Karhea, absorboiva				
18	547	8.09	25.3	26
19	609	8	26.0	27
ka	578	8.05	25.7	27
Soft-kalanteroitu: sileä/karhea				
9078	383	7.27	19.5	28
9081	866	8.41	28.1	29

Pienten sileyserojen aikaansaamisen aiheutti hyvän ajotilanteen lisäksi etenkin karheiden näytteiden sileneminen varastoinnin aikana ja leikkurin kiinteään levitystelan eli ponkaraudan silittävä vaikutus (näytteiden sileys täytyi määrittää kuitenkin jo popella).

15. PÄÄLLYSTYSKOEAJON TULOKSET

15.1. Koeajon kulku

Päällystyskoeajon tulokset on esitetty liitteessä 19. Koeajo oli tarkoitus suorittaa on-line soft-kalanterointina, mutta päällysteen kiinnitarttumisen vuoksi jouduttiin käyttämään erilliskalanterointia. Ongelmana oli myös joissain rullissa väärän kokoiset hylsyet. Muuten koeajo sujui odotetusti, eikä ratakatkojakaan sattunut.

Tuotantomittakaavaisella koneella tulokset eivät välttämättä ole samanlaisia, koska työssä käytetty Keskuslaboratorion kone eroaa Valmetin Auto Bladesta esimerkiksi teräkaavauksen ja kuivatuksen osalta. Eräänä ongelmana tuotantokoneessa todennäköisesti tulee olemaan kuivatuksen hienosäädön puuttuminen ennen kuivausryhmiä.

15.2. Päällystys ja soft-kalanterointi

15.2.1. Pastan ominaisuudet

Brookfield-viskositeetti mittaa pieniä leikkausnopeuksia, joten sen avulla voidaan ennustaa pastan käyttäytymistä pumppauksessa ja pastamikserissä. Pienissä leikkausnopeuksissa reologiaan vaikuttaa pigmentin pinnan ala; kun partikkelikoko pienenee pinnan ala kasvaa ja viskositeetti nousee.

Hercules High Shear, Haaken Rotovisco ja **Ferranti-Shirley** viskosimetri mittaavat suuria leikkausnopeuksia ja ne ovatkin yleisimmin käytettyjä kuvaamaan pastan reologisia ominaisuuksia ja ajettavuutta teräpäällystyksessä /72/. Suurilla leikkausnopeuksilla viskositeettiin vaikuttaa partikkelikokojakauma ja pakkautuminen. Muototekijän kasvu suurentaa molempia viskositeetteja.

Kokeissa pastan kuiva-ainepitoisuus pidettiin vakiona, jolloin Brookfield 100 viskositeetti laski kaoliinipastan tasolta 1900 mPas tasolle 1300 mPas käytettäessä 50 % hienojauhettua kalsiumkarbonaattia. Vastaavasti Ferranti-Shirley laski tasolta 95 cP tasolle 60 cP.

Päällystemäärät laskettiin tuhkapitoisuuksien avulla. Kaoliinilla hehkutushäviö oli 25 % ja kalsiumkarbonaatilla 50 %. Useimmiten päällystemäärä ylitti tavoitteen 1 - 2 g/m², kertaakaan päällystemäärä ei jäänyt liian pieneksi. Virhe pieneni kalsiumkarbonaatin määrän noustessa ja pohjakartongin karhetessa.

15.2.2. Päällystetyn kartongin laatu

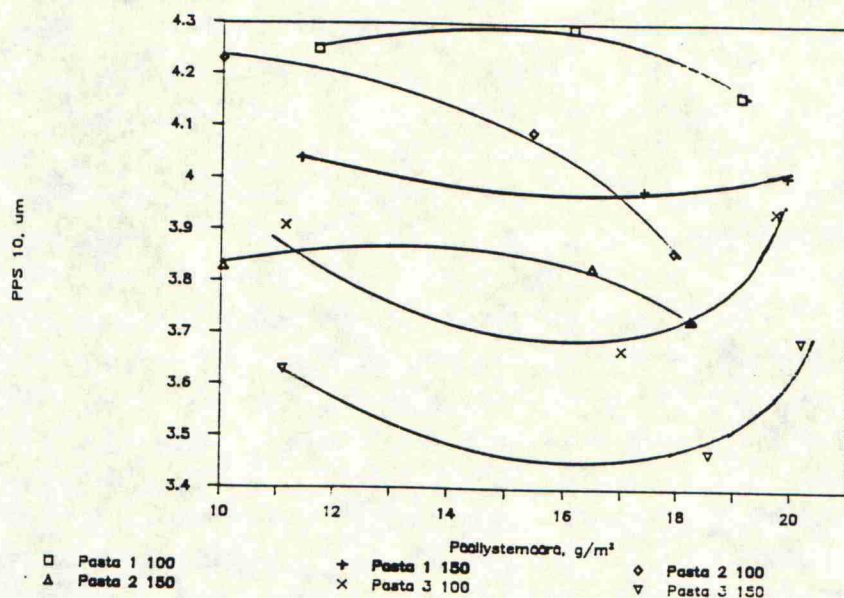
Tiheys kasvoi päällystemäärän ja kalanteroinnin lisääntyessä. Myös kalsiumkarbonaatin lisäys nosti tiheyttä. Pienemmällä päällystemäärällä ja heikommalla kalanteroinnilla tiheys jäi alle 900 kg/m³ ja suurimmalla päällystemäärällä sekä voimakkaammalla kalanteroinnilla liikuttui 930 kg/m³ tasolla. Soft-kalanteroituja pohjakartonkeja käytettäessä ei tiheys noussut heikommalla kalanteroinnilla lainkaan yli 900 kg/m³.

Karheus pienenee päällystemäärän lisääntyessä ja kalanteroinnin voimistuessa. Yli 15 g/m² päällystemäärällä sileyden parantuminen hidastuu ja joissain tapauksissa karheus jopa kasvaa. Kalsiumkarbonaatin lisäys nolasta 25 %:iin parantaa sileyttä.

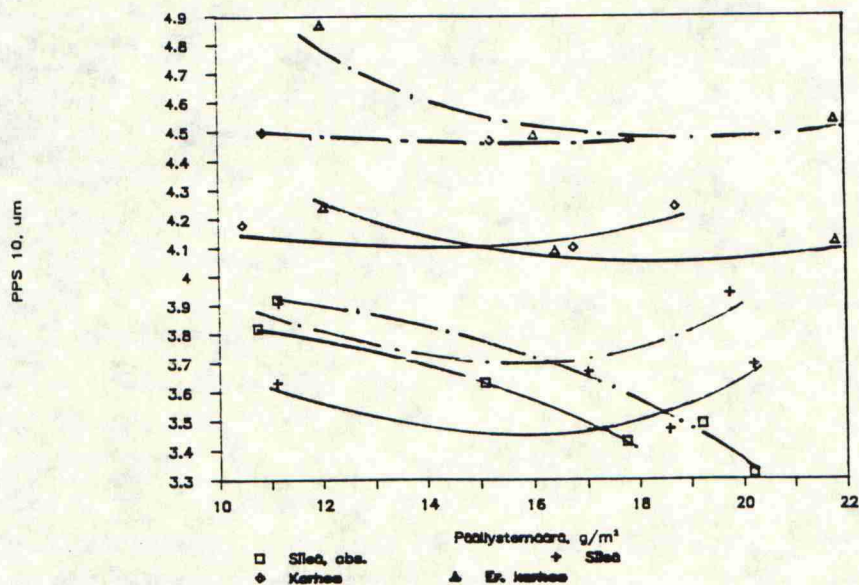
Kuvassa 40. on sileän pohjakartongin karheuden kehittymisen päällystemäärän funktiona eri pastoilla. Kuvan 40. perusteella näyttäisi, että 50 % kalsiumkarbonaattipitoisuudella saavutettaisiin parhaat tulokset. Kaikissa tapauksissa ero ei kuitenkaan ollut yhtä selvä pastojen 2 ja 3 välillä. Pastalla 1 sileys pysyy lähes vakiona tai heikkenee päällystemäärän noustessa ja sileys jää heikommaksi kuin muilla pastoilla. Pohjakartongin absorptio-ominaisuudet eivät vaikuta sileyteen, mutta sen sijaan pohjakartongin karheus vaikuttaa voimakkaasti saavutettavaan

sileystasoon. Siten että sileysero pohjakartongin ja päällystetyn kartongin välillä on tietyllä pastalla ja päällystemäärällä lähes sama kaikilla näytteillä. Pohjakartongin vaikutusta karheuteen pastoilla 2 ja 3 on havainnollistettu kuvissa 41. ja 42. Kalanterointia voimistaessa 100 - 150 kN/m sileys paranee keskimäärin 0,2 μm , parhaiden arvojen ollessa 3,3 μm . Bendtsen-karheudessa parhaat tulokset saatiin pastalla 3, jolloin päästiin parhaimmillaan tasolle 70 ml/min.

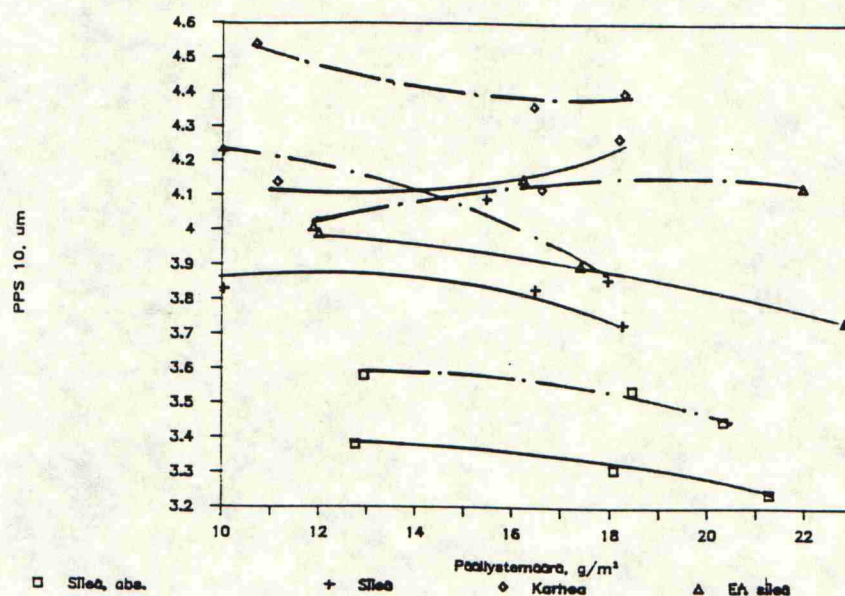
Pohjakartongin soft-kalanterointi pienentää huomattavasti Bendtsen-karheutta, mutta PPS:n arvot jäävät melkein konekalanteroinnin tasolle. Päällystyksen jälkeen konekalanteroiduilla pohjakartongeilla saavutettiin ajoittain parempia sileyksiä, ja muissa ominaisuuksissa pysyttiin samalla tasolla. Kuvassa 43. on sileyseron kehittyminen päällystemäärän funktiona soft-kalanteroidulla pohjakartongilla. Karheilla pohjilla sileysero oli hiukan suurempi ja kalanteroinnin voimistuessa sileysero vielä voimistuu, mutta karheiden pohjakartonkien lopullinen sileys oli silti huono. Pohjan formaatio oli eri näytteillä lähes saman suuruinen eikä sen tämän vuoksi havaittu vaikuttavan päällysteen tai painojäljen laatuun.



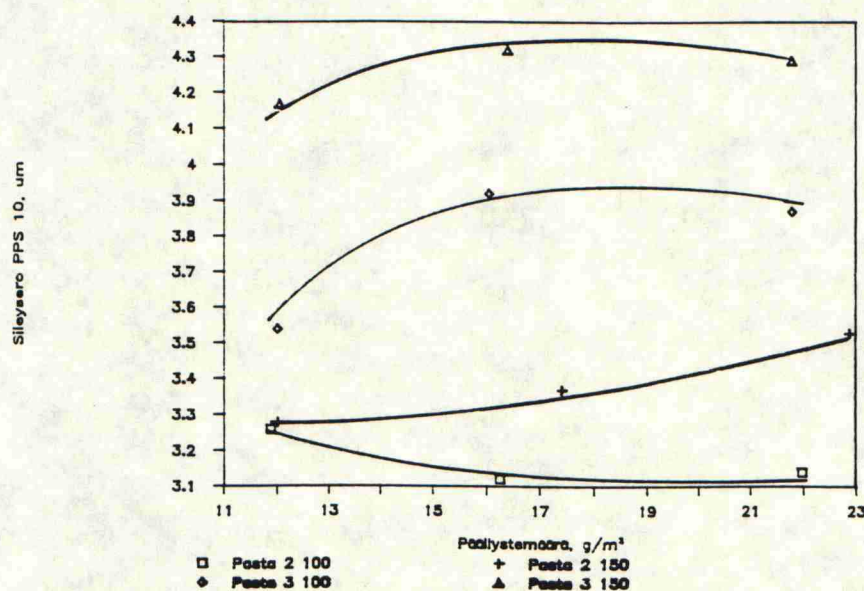
Kuva 40. Päällystemäärän vaikutus PPS-karheuteen päällystettäessä sileää pohjakartonkia. Parametreina ovat pastakoostumus ja kalanteroinnin voimakkuus.



Kuva 41. Päällystemäärän vaikutus PPS-karheuteen käytettäessä pastaa 3. Parametreina ovat pohjakartongin karheus ja absorptiokyky (abs. = absorboiva pohjakartonki) sekä kalanterointivoimakkuus (— 100 kN/m, — 150 kN/m).



Kuva 42. Päällystemäärän vaikutus PPS-karheuteen käytettäessä pastaa 2. Parametreina ovat pohjakartongin karheus ja absorptiokyky (abs. = absorboiva pohjakartonki) sekä kalanterointivoimakkuus (— 100 kN/m, — 150 kN/m).



Kuva 43. Päällystemäärän vaikutus saavutettavaan sileyseroon käytettäessä karheata ja sileäksi soft-kalanteroitua pohjakartonkia. Parametreina ovat pastakoostumus ja kalanteroinnin voimakkuus.

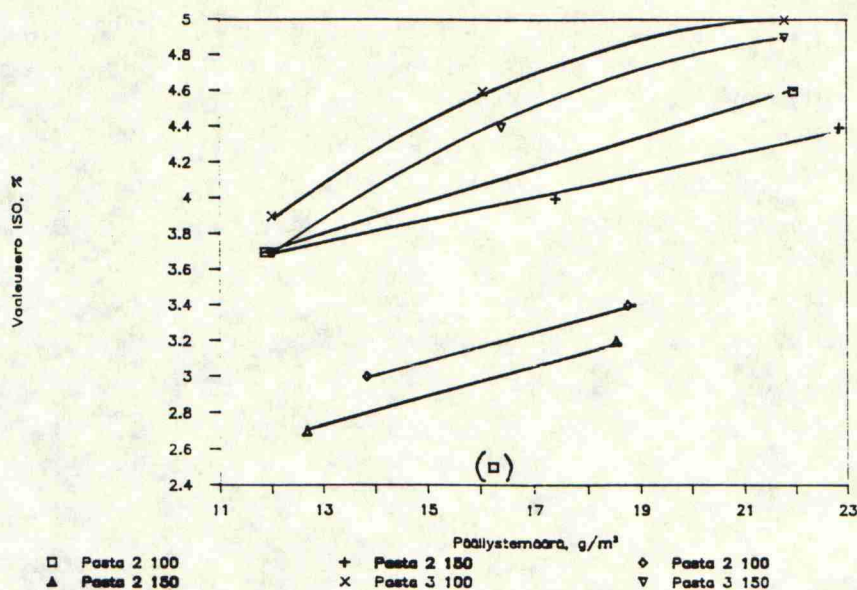
Kokoonpuristuvuus useimmiten kasvaa pohjakartonkia päällystettäessä, mutta laskee päällystemäärän ja kalsiumkarbonaatin osuuden noustessa sekä kalanteroinnin voimistuksessa. Sileitä pohjakartonkeja päällystettäessä kokoonpuristuvuus vakioitui välille $0,8 - 1,1 \mu\text{m}$, riippumatta paljoakaan pohjakartongin alkuperäisestä kokoonpuristuvuudesta. Karhealla pohjalla saavutettiin päällystettäessä suurin kokoonpuristuvuuden nousu, tasolle $1,1 - 1,4 \mu\text{m}$. Eikä se tällöin laskenut kovin voimakkaasti edes kalanteroitaessa. Yllättävää oli, että karheita pohjakartonkeja soft-kalanteroitaessa kokoonpuristuvuus kasvoi.

Puhkaisulujuus pysyy ennallaan tai kasvaa absorboivan pohjakartongin päällystyksen ja kalanteroinnin jälkeen sekä kaoliinin osuuden noustessa. Päinvastoin tapahtui ei-absorboivalla pohjakartongilla, eli päällystemäärän noustessa puhkaisulujuus laskee. Lisäksi on huomiotava myös tulosten suuri hajonta. Mullenin nousu oli suurimmillaan 50 kPa ja lasku 30 kPa. **Rengaslitistyslujuus** kasvaa päällystettäessä, mutta heikkenee hieman kalanteroinnissa ei kuitenkaan pohjakartongin tason alapuolelle. Pohjan RCT:n ollessa välillä $1,7 - 1,9 \text{ kN/m}$ oli lopputuotteen RCT $1,9 - 2,15 \text{ kN/m}$ ja pohjakartongin tasolta $1,5 \text{ kN/m}$ noustiin päällystyksen jälkeen tasolle $1,8 \text{ kN/m}$. Kalanteroinnin jälkeen sileän ja absorboivan pohjan **palstautuma** nousee, kun taas heikosti absorboivalla pohjakartongilla palstautuma laskee. Huomiota herätti, että maksimi palstautuma saavutettiin lähes poikkeuksetta 15 g/m^2 päällystemäärällä ja voimakkaammalla kalanteroinnilla. Konekalanteroiduilla pohjakartongeilla päällystyksen ja kalanteroinnin jälkeisen palstautuman satunnaisesta vaihtelusta huolimatta voidaan päätellä, että sileällä ja absorboivalla pohjakartongilla päästiin parhaaseen lopputulokseen noin $270 - 310 \text{ J/m}^2$. Selvästi heikoin tulos saatiin sileällä, mutta heikosti absorboivalla pohjakartongilla noin $200 - 210 \text{ J/m}^2$. Karhea ja absorboiva pohjakartonki sijoittui näiden välille. **IGT-suomustuma** vaihteli välillä $0,5 - 0,7 \text{ m/s}$, paitsi sileällä heikosti absorboivaa pohjakartonkia päällystettäessä pastoilla 1 ja 2 se oli $0,7 - 0,95$. Trendin

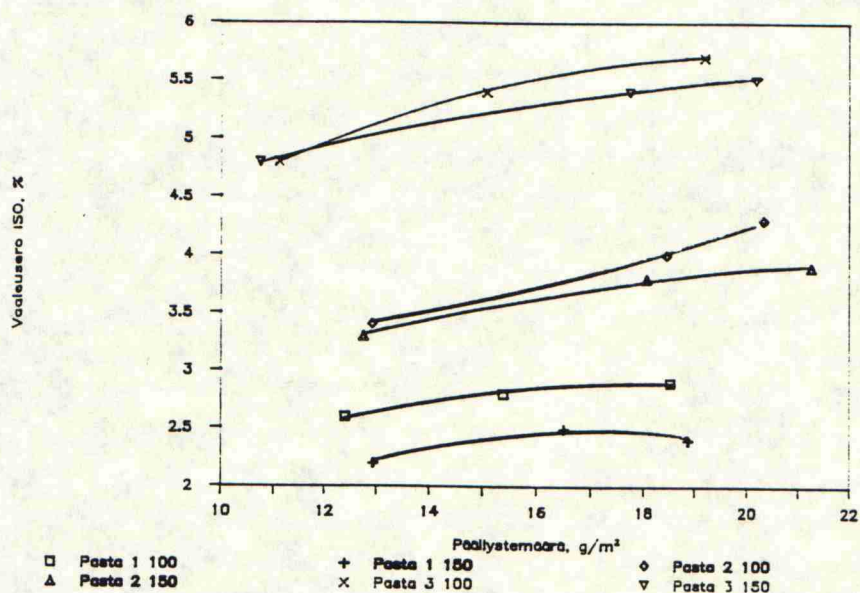
mukaan **kitkakulma** kasvaa päällystemäärän ja kalsiumkarbonaatin osuuden noustessa. Päällystemäärällä 15 g/m² ja 150 kN/m viivapaineella kaoliinipastalla kitkakulmaksi saatiin 20° ja pastalla 3 23 - 24°.

Vaaleus nousee kalsiumkarbonaatin määrän lisääntyessä päällystettäessä siten, että 25 %:n lisäys nostaa vaaleutta noin 1,5 % (kuvat 44. ja 45.). Yli 78 % ISO vaaleuksiin päästiin ainoastaan pastalla 3. Y-arvojen osalta liikutettiin välillä 78 - 81 %. Karheuden kasvu pienentää vaaleutta ennenkaikkea pastalla 3, mikä voidaan havaita myös kuvasta 46. Päällystemäärän noustessa erot tasoittuvat. Pastalla 2 saatiin kuvan 47. mukaan paras tulos erittäin sileällä soft-kalanteroidulla pohjakartongilla. Kuvasta 44. huomataan, että samalla erittäin sileällä pohjakartongilla ei jääty pienellä päällystemäärällä jälkeen kuin 0,3 % pastalla 3 päällystetystä erittäin karheasta pohjakartongista. Kun taas päällystettiin erittäin karheata pohjakartontia pastalla 2 ero oli sileään verrattuna noin 0,7 %.

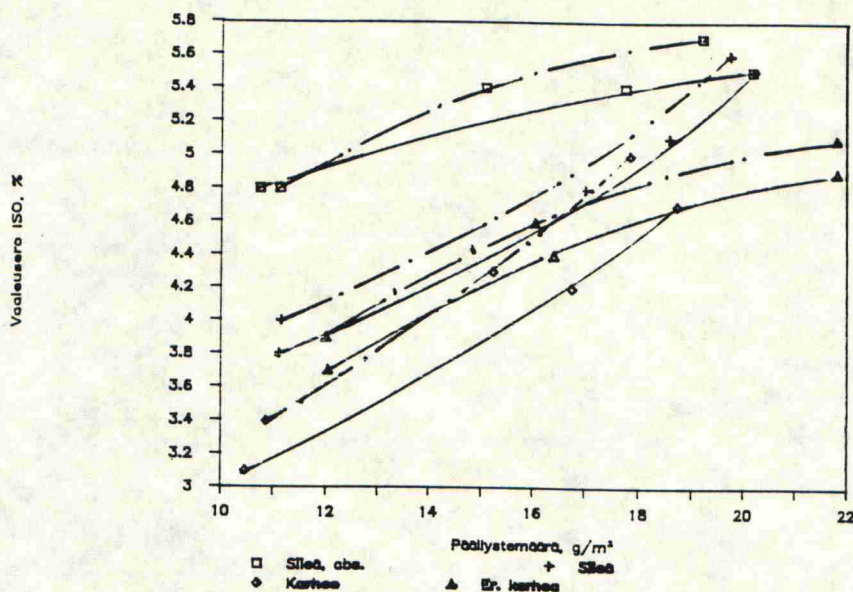
Pohjakartongin karheuden ohella lopulliseen vaaleustasoon vaikuttaa myös pohjakartongin vaaleus. Tulosten mukaan 0,6 % vaaleusero pohjakartongeissa aiheuttaa vaaleuseroja lopputuotteessa. Kalanteroitaessa vaaleus laskee noin 0,5 % ja kalanteroinnin voimistuessa 100:sta 150 kN/m vaaleus laskee noin 0,1 - 0,3 %. Suuremmilla päällystemäärillä vaaleuden lasku voimistuu voimakkaammalla kalanteroinnilla, mikä tulee esille myös kuvassa 45.



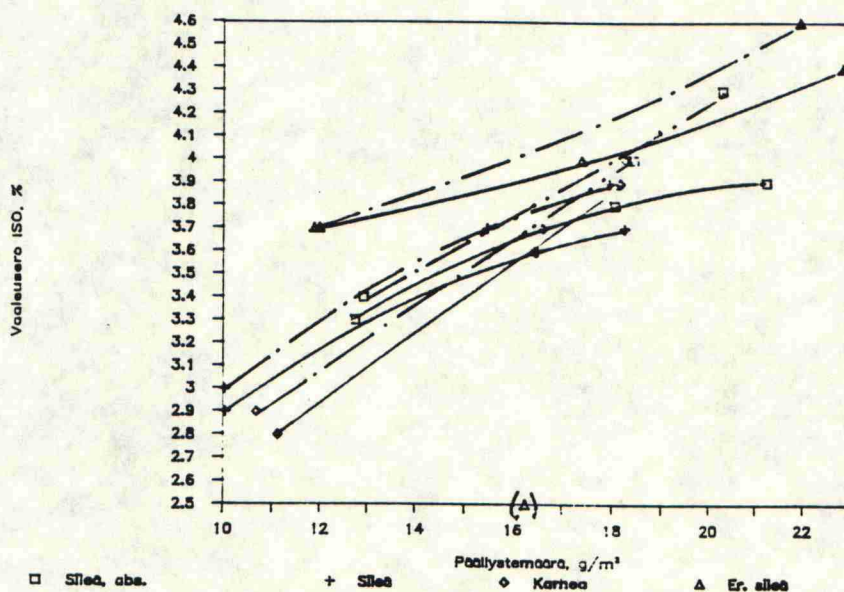
Kuva 44. Päällystemäärän vaikutus ISO vaaleuseroon päällystetyn ja pohjakartongin välillä karheaksi ja sileäksi soft-kalanteroiduilla pohjakartongeilla. Parametreina ovat pastakoostumus ja kalanterointivoimakkuus.



Kuva 45. Päällystemäärän vaikutus ISO vaaleuseroon päällystetyn ja pohjakartongin välillä sileää ja absorboivaa pohjakartonkia päällystettäessä. Parametreina ovat pastakoostumus ja kalanterointivoimakkuus.

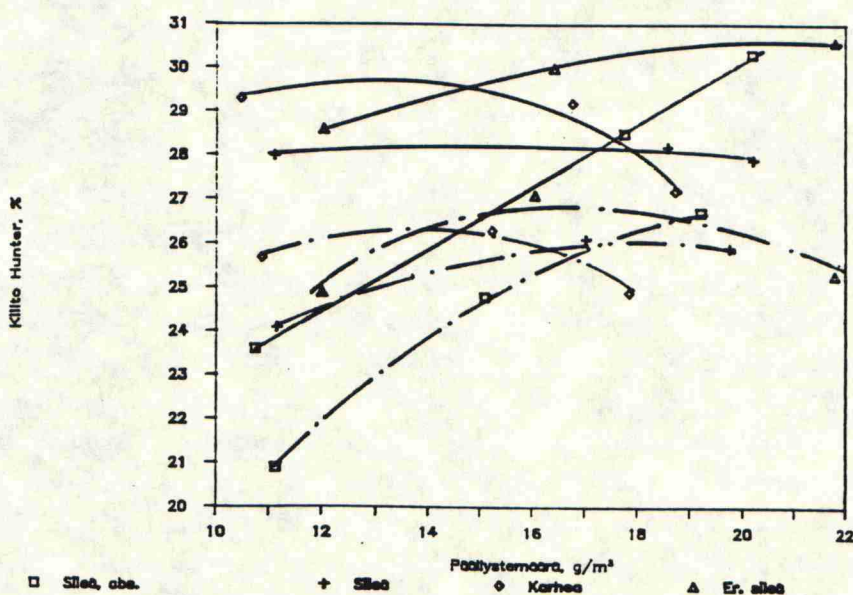


Kuva 46. Päällystemäärän vaikutus ISO vaaleuseroon päällystetyn ja pohjakartongin välillä käytettäessä pastaa 3. Parametreina ovat pohjakartongin karheus ja absorptiokyky (abs. = absorboiva pohjakartonki) sekä kalanterointivoimakkuus (— 100 kN/m, — 150 kN/m).

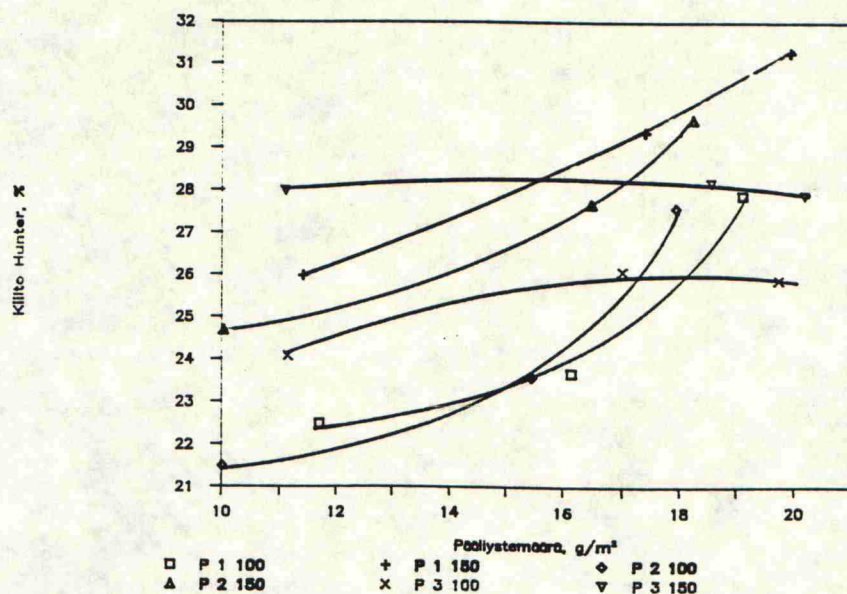


Kuva 47. Päällystemäärän vaikutus ISO vaaleuseroon päällystetyn ja pohjakartongin välillä käytettäessä pastaa 2. Parametreina ovat pohjakartongin karheus ja absorptiokyky (abs. = absorboiva pohjakartonki) sekä kalanterointivoimakkuus (— 100 kN/m, — 150 kN/m).

Kiilto-arvoista tuloksien analysoinnissa käytetään ainoastaan konesuunnan kiiltoa, mutta poikkisuunnan kiilto kehittyy samalla tavalla pienemmästä numeroarvosta huolimatta. Kiilto nousee sileyden tavoin päällystemäärän noustessa ja kalanteroinnin voimistuessa. 15 g/m² päällysteillä päästään hyvissä olosuhteissa yli 30 % Hunter kiiltoihin. Yleensä ottaen vaaditaan kuitenkin 150 kN/m viivapaine ja yli 20 g/m² päällystemäärä tavoitteiden saavuttamiseksi. Kuvasta 48. huomataan, että pienellä päällystemäärällä saatiin 50 % kalsiumkarbonaattiosuudella karheammalle pohjalle parempi kiilto, mutta päällystemäärän kasvaessa kiilto saattaa heiketä. Yli 15 g/m² päällystemäärällä saavutettiin pastoilla 1 ja 2 selvästi parempi kiilto kuin pastalla 3 (kuva 49.). Kalsiumkarbonaatin osuuden vähetessä sileyden merkitys kasvoi eli sileämmälle pinnalle saatiin parempi kiilto. Kiillon käyttäytymistä voidaankin selittää melko pitkälle pinnan sileydellä. Pohjakartongilla ei ollut selvää vaikutusta saavutettavaan kiiltoon.

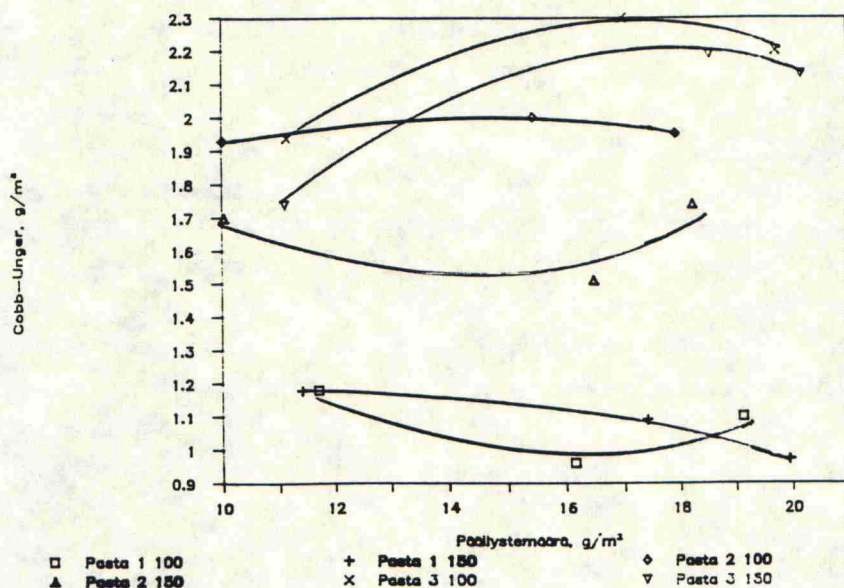


Kuva 48. Päällystemäärän vaikutus Hunter kiiltoon käytetäessä pastaa 3. Parametreina ovat pohjakartongin karheus ja absorptiokyky (abs. = absorboiva pohjakartonki) sekä kalanterointivoimakkuus (— 100 kN/m, — 150 kN/m).

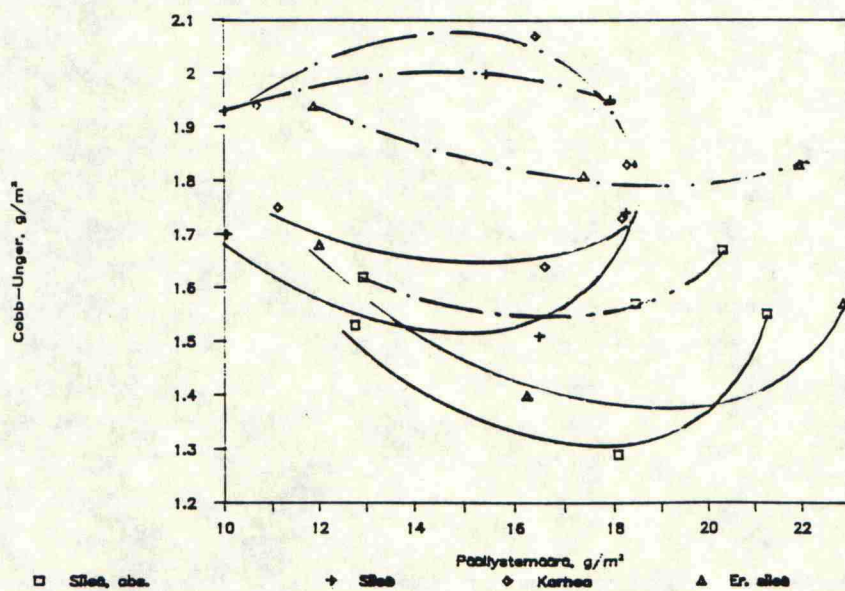


Kuva 49. Päällystemäärän vaikutus Hunter kiiltoon päällystettäessä sileää pohjakarttonkia. Parametreina ovat pastakoostumus ja kalanteroinnin voimakkuus.

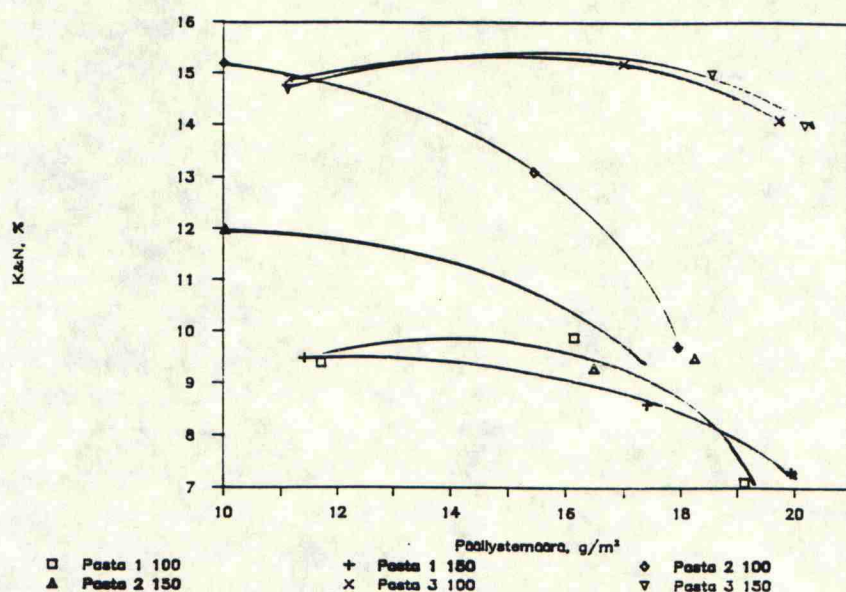
Absorptio-ominaisuuksissa eri pastojen välille muodostui selvät erot samoin kuin kalanterointivoimakkuutta muutettaessa. Cobb 60 laskee päällystettäessä päällystemäärän, kalanterointipaineen sekä pastan kaoliinin osuuden noustessa. Lisäksi heikosti absorboivalle pohjakartongille saatiin päällystettäessä pienempi Cobb. Sileillä pohjakartongeilla Cobb 60 ei muuttunut paljoakaan päällystettäessä, lukuunottamatta kaoliinipastaa, jolla Cobb putosi jopa puoleen, eli 10 g/m². Cobb-Unger laskee voimakkaimmin pohjakartongin päällystyksessä. Päällystetyllä laadulla Cobb-Unger laskee kaoliinin osuuden noustessa ja kalanteroinnin voimistuessa, kuten kuvassa 50. on esitetty. Päällystemäärän noustessa Cobb-Unger on vakio tai nousee hieman, etenkin 50 % kalsiumkarbonaatti pitoisuudella. Eri pohjien vaikutusta on vaikea verrata, koska Cobb-Ungerin hajonta on suuri. Kuvasta 51. voidaan päätellä, että karhea pohjakartonki nostaa hieman päällystyksen jälkeistä Cobb-Ungeria. Kuvasta 52. voidaan puolestaan havaita, että K&N käyttäytyy kuten Cobb-Ungerkin, mutta päällystemäärän noustessa K&N laskee eli se korreloi paremmin päällysteen peittokyvyn kanssa.



Kuva 50. Päällystemäärän vaikutus Cobb-Ungeriin päällystettäessä sileätä pohjakartonkia. Parametreina ovat pastakoostumus ja kalanterointivoimakkuus.



Kuva 51. Päällystemäärän vaikutus Cobb-Ungeriin pastalla 2 erilaisilla pohjakartongin sileyksillä ja absorptiokyvyillä (abs. = absorboiva pohjakarttonki). Lisäksi muuttujana on kalanterointivoimakkuus (— 100 kN/m, — 150 kN/m).



Kuva 52. Päällystemäärän vaikutus K&N-väriin absorptioon päällystettäessä sileätä pohjakartonkia. Parametreina ovat pastakoostumus ja kalanterointivoimakkuus.

Päällysteen kiinnitarttumisen syiden selvittäminen päätettiin jättää toiseen yhteyteen. Päällystyskoeajon vararullilla suoritettiin kuitenkin alustava kiinnitarttumiskoe. Koe aloitettiin 10 g/m² päällystemäärällä nostamalla viivapainetta 20 kN/m välein 160 kN/m asti, jonka jälkeen sama toistettiin päällystemäärällä 15 g/m². Tämän perusteella 10 g/m² on vielä liian pieni päällystemäärä aiheuttamaan kiinnitarttumista, mutta 15 g/m² päällystettä tarttui kiinni jo 20 kN/m viivapaineella.

Keskuslaboratoriossa tehdyillä erikoismittauksilla saatiin muita mittauksia tukevia tuloksia. Suulakelevityslaitteella mitattiin veden ja öljyn absorptiota lyhyin aikavälein. Vettä käytettäessä absorptio kasvoi 0,1 sekuntiin asti, jonka jälkeen se pysyi lähes vakiona tai laski hieman. Lopullinen taso oli noin 3 g/m². Öljyllä tulokset olivat sikäli samanlaisia, että vasta 0,1 sekunnin jälkeen alkoi eri näytteiden välille tulla eroja. Useimmilla absorptio pysyi tämän jälkeen lähes vakiona, mutta vesikokeen tapaan kahdella karheimmalla näytteellä absorptio kasvoi 0,5 sekunnin kohdalla. Suulakelevityslaitteella mitattu ve-

denabsorboivuus antoi muuten samanlaisia tuloksia kuin muutkin absorptio-ominaisuuksien mittaukset, eli kalsium-karbonaattipäällysteillä oli suurin absorptio. Paras vastaavuus saatiin K&N kanssa.

Epätasaisuuksien jakauma on päällystetyllä kartongilla huomattavasti jyrkempi, mikä merkitsee suurimpien epätasaisuuksien tasoittumista ja muuttumista pienemmiksi (liite 20.).

15.3. Painojäljen laatu

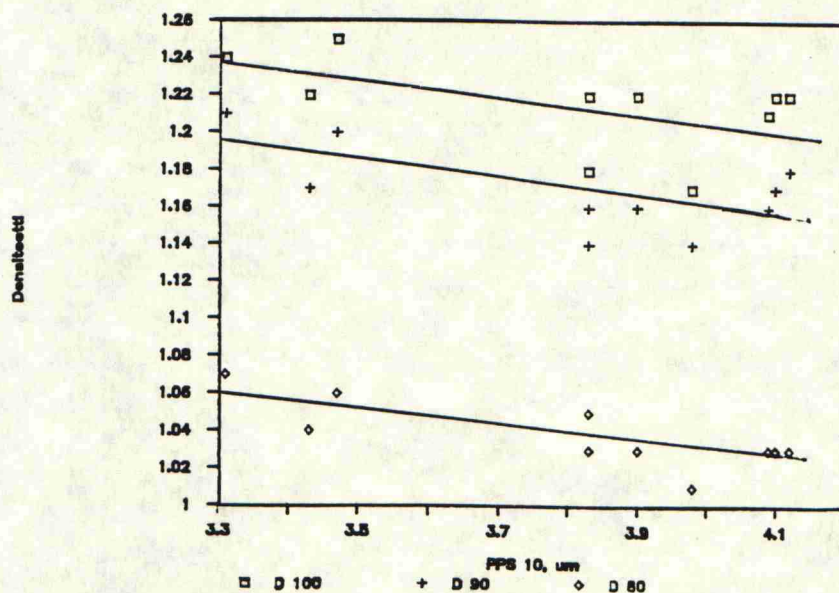
Painatustulokset on esitetty liitteessä 21. ja liitteessä 22. on painatusnäytteitä. Eri painolevyillä painetut näytteet eivät ole keskenään vertailukelpoisia, koska painolevyn valmistuksessa saattaa painolevyihin tulla eroavaisuuksia. Lisäksi painojäljen tuloksia tarkasteltaessa on muistettava, että erot ovat erittäin pieniä.

Rasteritiheyden noustessa rasteripisteiden koko pienenee. Vaikka pisteen kasvu sen pinta-alaa kohden olisi vakio, niin suuremmilla rasteritiheyksillä pisteen kasvu on voimakkaampaa pisteiden lukumäärän kasvaessa pinta-alayksikköä kohden.

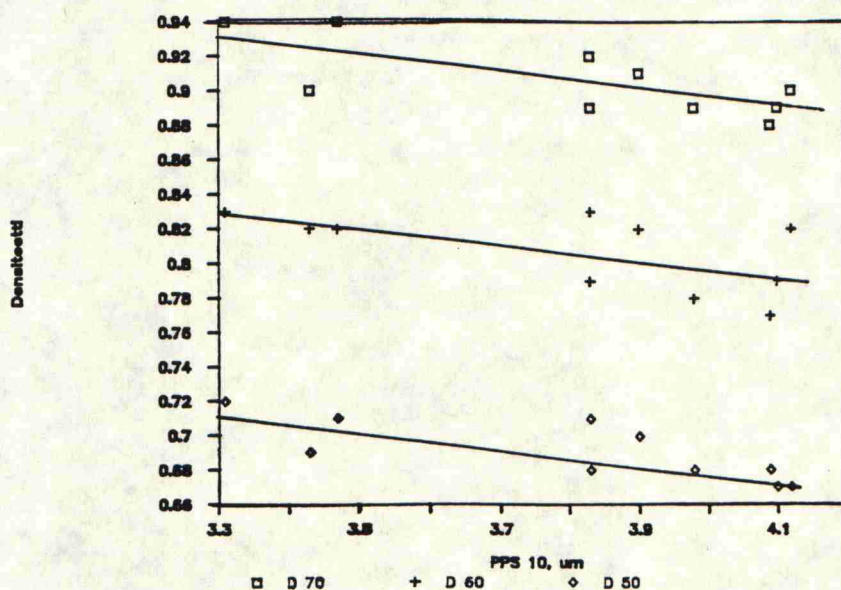
Poikkisuuntaiset viivat tukkeutuivat huomattavasti aikaisemmin kuin konesuuntaiset, jonka perusteella voidaan päätellä nipissä tapahtuvan vierintää. Vierinnän vuoksi rasteripisteet leviävät konesuuntaan ja todellisuudessa pisteen leviäminen ja densiteetti ovat siis jonkin verran alhaisempia.

Karheuden kasvaessa **densiteetti** pienenee kaikilla sävypinnoilla ja rasteritiheyksillä. Kuvissa 53.-55. on esitetty eri sävypintojen densiteettejä 34 l/cm rasteritiheydellä. Absorptiokyvyn kasvaessa täyspeitteisen pinnan densiteetti kasvaa ja sävypintojen densiteetit laskevat rasteritiheydestä riippumatta (kuva 56.). Vaaleuden noustessa trendi on samantapainen. Rasteritiheyden noustessa sävy-

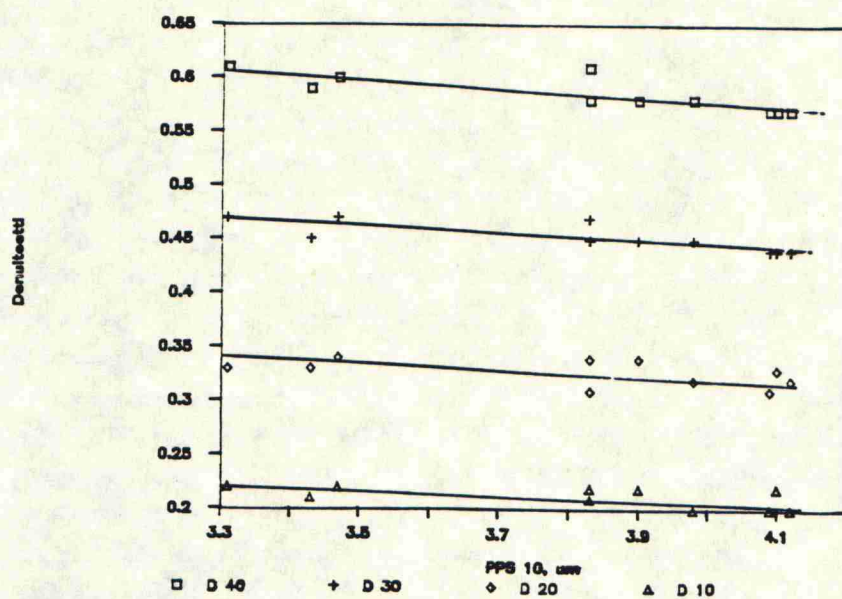
pintojen densiteetti nousee ja tummapää alkaa tukkeutua kuvan 57. esittämällä tavalla, mutta kaikilla sävypinnoilla käyrät ovat pisteitten keskinäisen suhteen kannalta samanlaisia. Yksityiskohtien toiston kannalta taas mahdollisimman tiheä rasteri olisi eduksi.



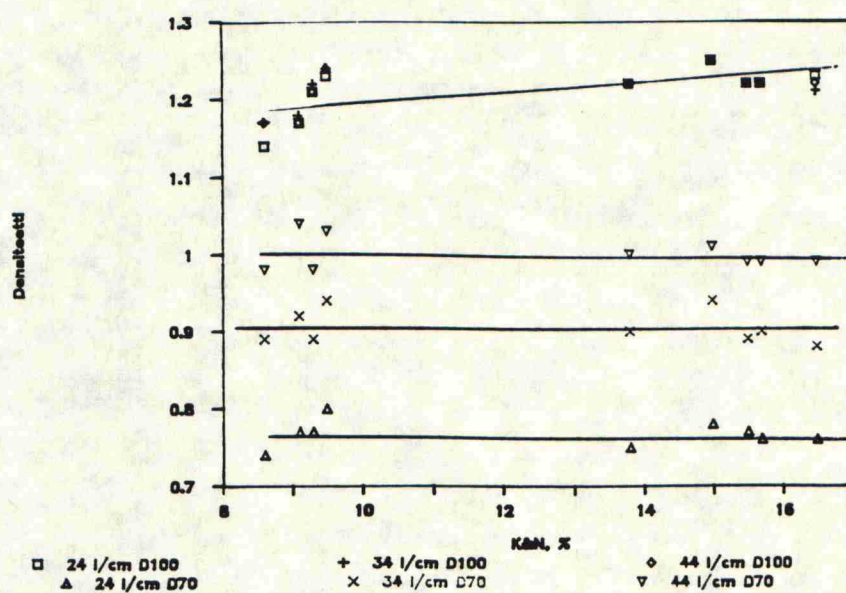
Kuva 53. PPS 10 karheuden vaikutus täyspeitteisen, 90 % ja 80 % sävypintojen densiteetteihin rasteritiheydellä 34 l/cm.



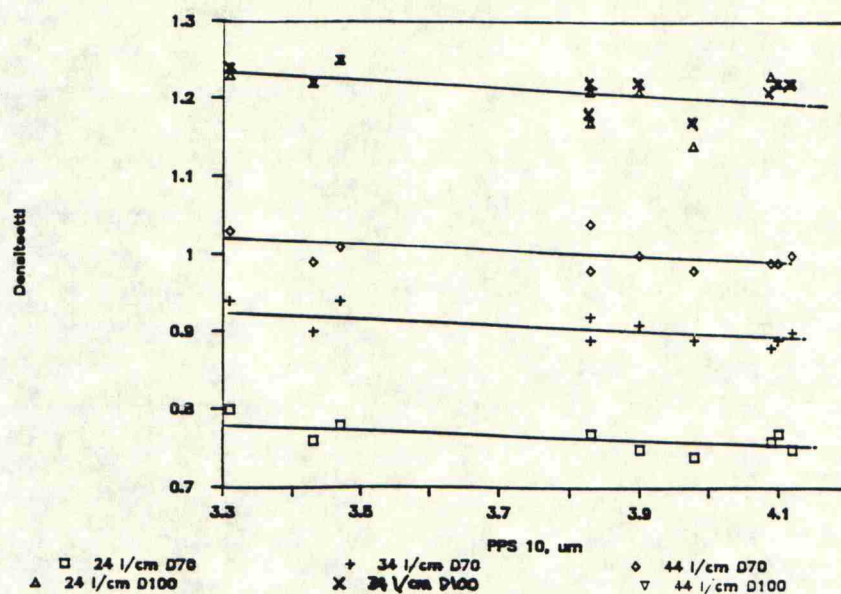
Kuva 54. PPS 10 karheuden vaikutus 70 %, 60 % ja 50 % sävypintojen densiteetteihin rasteritiheydellä 34 l/cm.



Kuva 55. PPS 10 karheuden vaikutus 40 %, 30 %, 20 % ja 10 % sävyttöjen densiteetteihin rasteritiheydellä 34 l/cm.

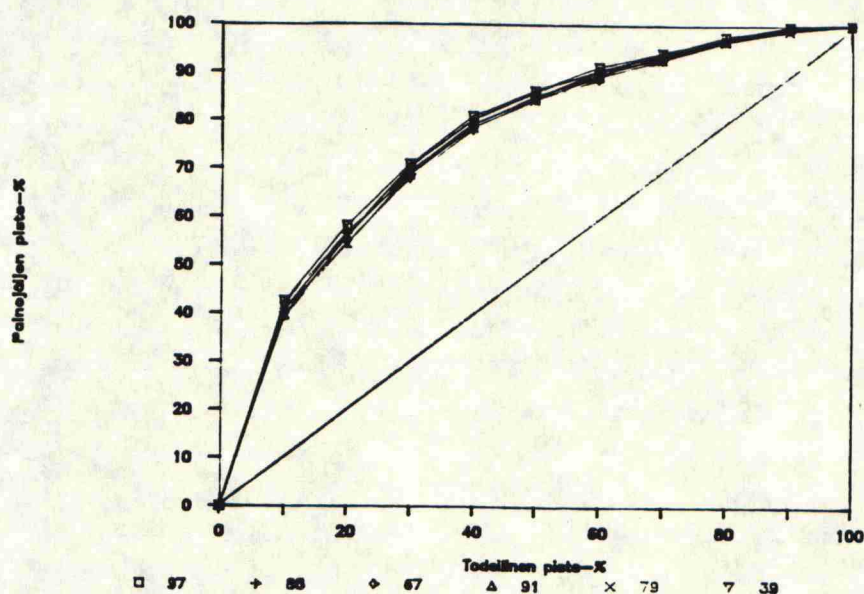


Kuva 56. K&N-värin absorption vaikutus täyspeitteisen ja 70 % sävyttävän densiteettiin eri rasteritiheyksillä.

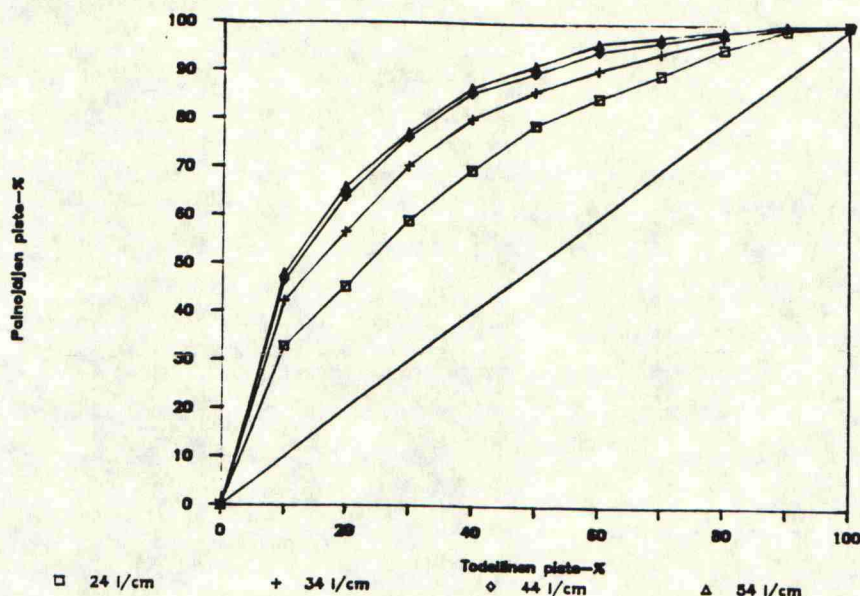


Kuva 57. PPS 10 karheuden vaikutus täyspeitteisen ja 70 % sävypinnan densiteettiin eri rasteritiheyksillä.

Sävyntoistokäyrät ovat melko jyrkkiä kuvan 58. osoittamalla tavalla ja jo 10 % rasterilla tulee yli 30 % sävypinta, mikä kertoo voimakkaasta pisteen leviämisestä. Eri pohjakartongeilla ja pastakoostumuksilla ei saatu eroja samalla rasteritiheydellä. Mitä tiheämpää rasteria käytetään sitä jyrkempi käyrä on, eli pisteen leviäminen voimistuu. Esimerkkinä on kuvassa 59. pastalla 2 päällystetty sileä ja absorboiva pohjakartonki.



Kuva 58. Päällystetyn kartongin sävyntoistokäyriä 34 l/cm rasteritiheydellä erilaisilla pohjakartongeilla ja pastakoostumuksilla.



Kuva 59. Päällystetyn kartongin sävyntoistokäyriä eri rasteritiheyksillä.

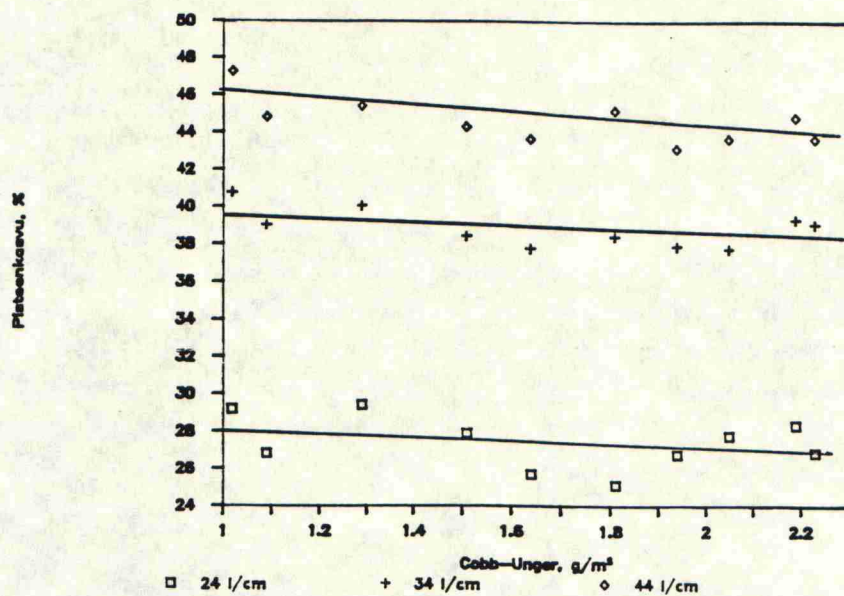
Pisteen kasvuun vaikuttaa voimakkaimmin rasteritiheyden nousu. Vakio rasteritiheydellä pisteenkasvu on vähäisintä huokoisimmilla pohjakartongeilla, mikä nähdään kuvasta 60. K&N-painovärillä saadaan samansuuntaisia tuloksia kuin Cobb-Ungerilla eli kalsiumkarbonaatin määrän lisääntyminen nostaa absorptiokykyä ja vähentää pisteen kasvua. Tämä nähdään myös kuvasta 61. Vielä absorptio-ominaisuuksia selvemmin pisteenkasvuun vaikuttaa sileys. Painopinnan karhetessa pisteenkasvu vähenee kuvan 62. esittämällä tavalla. Pisteen kasvu lasketaan kaavan 1. mukaan

$$40 \% \text{ sävypinnan PISTEEN KASVU} = \frac{1 - 10^{-D_{40}}}{1 - 10^{-D_{100}}} * 100 - 40 \quad (1)$$

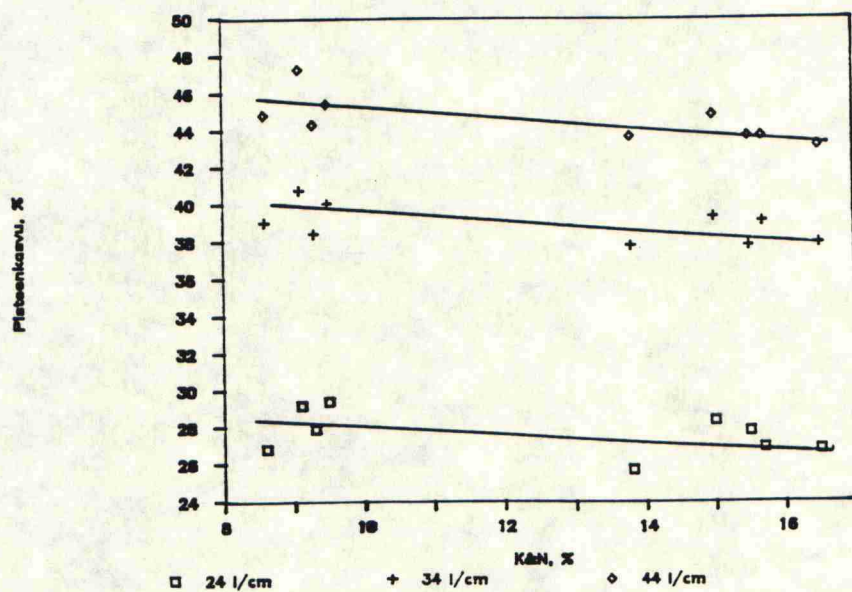
missä D40 on 40 % pinnan densiteetti

D100 on täyspeitteisen pinnan densiteetti

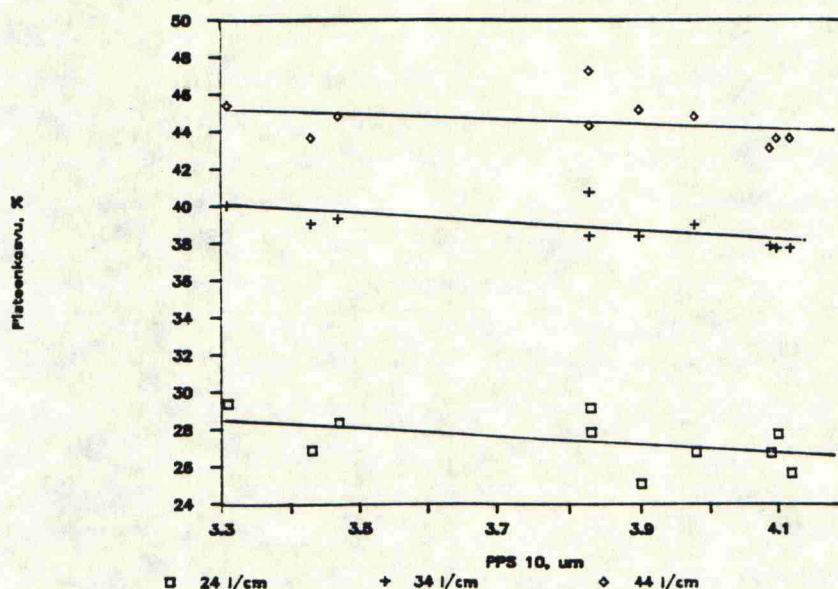
Karheus vaikuttaa voimakkaasti absorptio-ominaisuuksiin, joten myös PPS 10:llä saadaan samanlaisia tuloksia pisteen kasvun ja suhteellisen kontrastin suhteen.



Kuva 60. Cobb-Ungerin vaikutus pisteen kasvuun eri rasteritiheyksillä.



Kuva 61. K&N-värin absorption vaikutus pisteen kasvuun eri rasteritiheyksillä.



Kuva 62. PPS 10 karheuden vaikutus pisteenkasvuun eri rasteritiheyksillä.

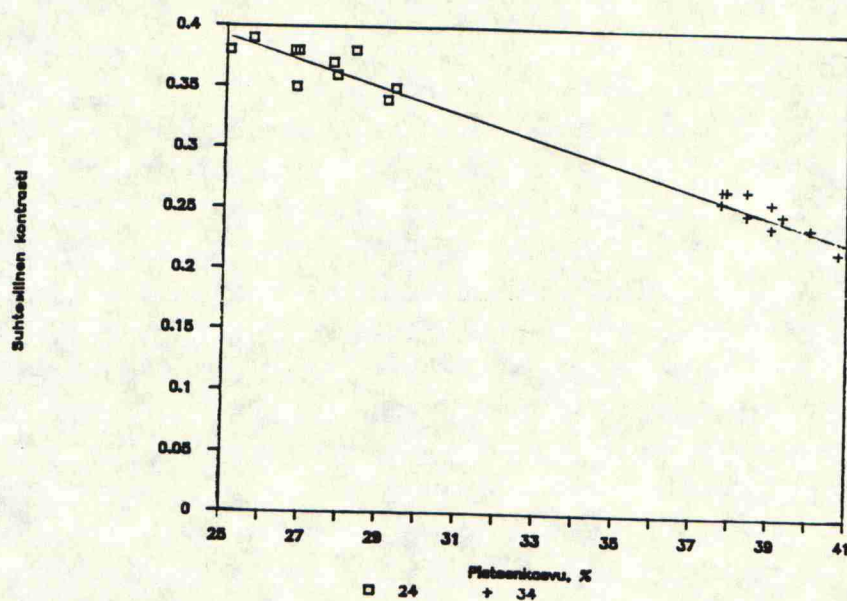
Rasteritiheyden noustessa pisteenkasvu lisääntyy ja **suh-teellinen kontrasti** sen myötä pienenee kuvan 63. esittä-mällä tavalla. Suhteellisen kontrastin heikkeneminen korkeammilla rasteritiheyksillä johtuu lähinnä tumman pään, ja siis myös 70 % pinnan tukkeutumisesta, eikä niinkään täyspeitteisen pinnan densiteetistä. Suhteellinen kontrasti lasketaan kaavan 2. mukaan.

$$\text{SUHTEELLINEN KONTRASTI} = \frac{D100 - D70}{D100} \quad (2)$$

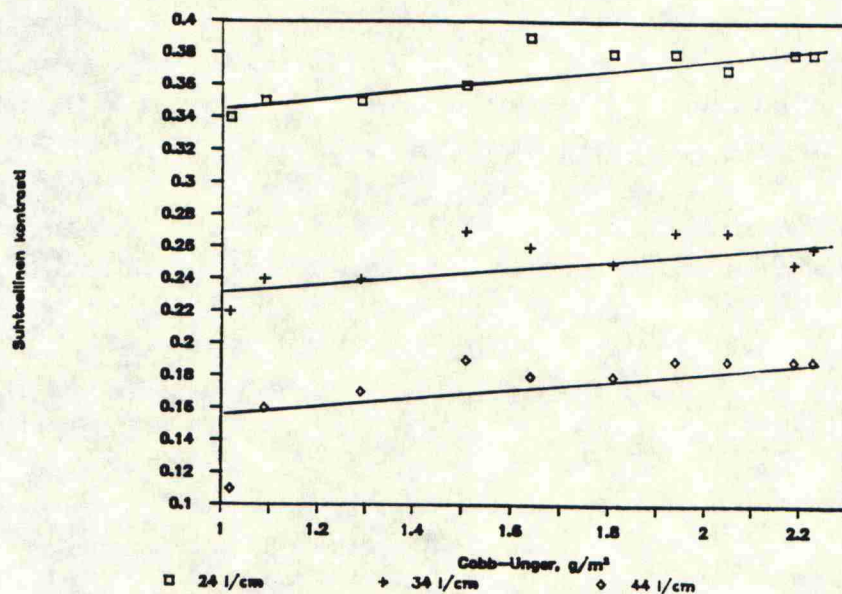
missä D70 on 70 % pinnan densiteetti

D100 on täyspeitteisen pinnan densiteetti

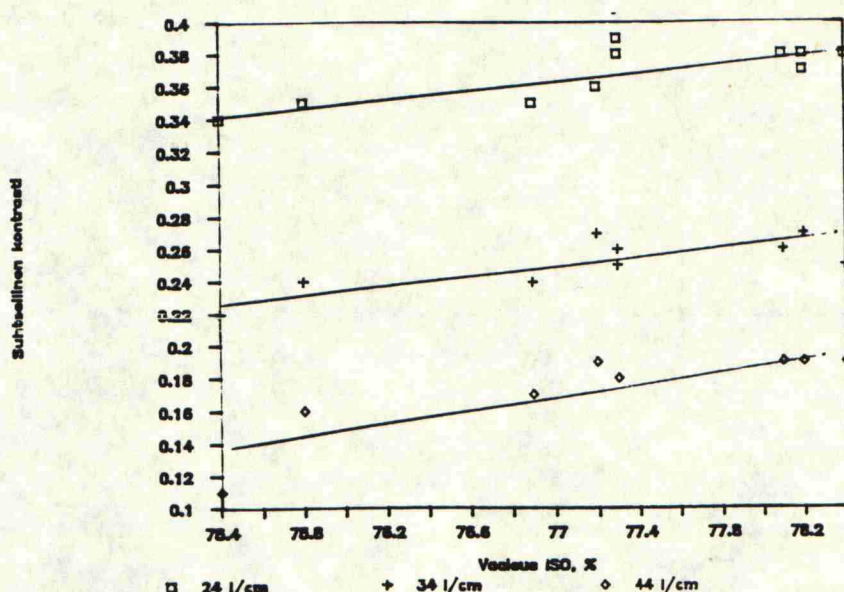
Suhteellinen kontrasti kasvaa kalsiumkarbonaatin määrän noustessa, jolloin absorptiokyky ja vaaleus kasvavat. Kuvassa 64. on esitetty Cobb-Ungerin vaikutus suhteelli-seen kontrastiin. Suhteellinen kontrasti kasvoi vaaleuden noustessa (kuva 65.), mutta kiillolla ei ole vaikutusta.



Kuva 63. Pisteenkasvun vaikutus suhteelliseen kontrastiin eri rasteritiheyksillä.



Kuva 64. Cobb-Ungerin vaikutus suhteelliseen kontrastiin eri rasteritiheyksillä.



Kuva 65. Vaaleuden vaikutus suhteelliseen kontrastiin eri rasteritiheyksillä.

Painojäljen kiillon kannalta painoalustalla on vähän merkitystä. Parhaimmat tulokset saavutettiin softatuilla pohjilla ja erilaisilla pohjakartongeilla paras tulos saatiin pastalla 2. Painojäljen kiilto kasvaa kiillon noustessa, joskin hajonta on varsin suuri.

Pidemmällä 5,4 mm aallonpituudella **painojäljen epätasaisuus** kasvaa sävypinnoilla nostettaessa kalsiumkarbonaatin osuutta, täyspeitteisellä pinnalla käy päinvastoin eli mottling pienenee kalsiumkarbonaatin määrän noustessa. Lyhyemmällä 1,8 mm aallonpituudella trendi on samanlainen, mutta hajontaa esiintyy jonkin verran. Huonoimmat tulokset saatiin erittäin karheaa tai sileää absorboimatonta kartonkia päällystettäessä pastalla 3. Parhaimmat tulokset saatiin sileitä pohjakartonkeja päällystettäessä pastalla 1 ja 2.

Väriin hylkiminen lisääntyi kaoliinin osuuden noustessa, samoin kuin Wet-pick'kin.

Visuaalisessa arvioinnissa huomattiin, että painolevylle oli joissain kokeissa tarttunut epäpuhtauksia. Tämä aiheutti painojäljessä aina samassa kohdassa toistuvia

painoväriittömiä kohtia peitteisellä pinnalla ja tummia pisteitä sävypinnoilla. Painojäljessä näkyi myös noin 2 mm välein tummempia nipin suuntaisia juovia ja myös pitempi-aaltoista (noin 5 cm) tummuuden vaihtelua oli havaittavissa.

Rasteritiheyden noustessa sävypintojen laikullisuus voimistuu. 40 l/cm rasteritiheydellä alle 50 % sävypinnat kohtalaisen näköisiä, mutta 70 % sävypinta on tukkeutunut. Painoväriiläiskät yli 40 l/cm rasteritiheydellä johtuvat anilox-telan liian pienestä rasteritiheydestä. Kaikilla sävypinnoilla 90 % sävypinta oli täysin painoväriin peittämä. 24 l/cm rasteritiheydellä sävypinnat ärsyttävät katsojaa, koska yksittäiset rasteripisteet näkyvät selvästi lukuetaisydeltä.

Pohjakartongin virheet näkyvät myös painotuloksessa. Pohjakartongissa oleva suurempi tikku tulee esiin sävypinnalla tummempina kohtana. Lisäksi tikun tai likaläiskän aiheuttamat paksummat kohdat ovat kiiltävämpiä. Pohjakartongin matoisuus näkyy painatuksen jälkeen vaaleammilla sävypinnoilla tummana juovana. Karheampia pintoja painettaessa erot näkyvät sileämpiin verrattuna peitteisillä ja tummemmilla sävypinnoilla. Karheilla pinnoilla esiintyy runsaasti painoväriittömiä kohtia, jonka vuoksi painojälki on epämiellyttävän täplikästä.

Tarkasteltaessa painojälkeä mikroskoopilla huomattiin päällysteen pinnassa konesuuntaista vanaisuutta, mikä johtuneee päällystyksessä terään tarttuneista partikkeleista. Rasteripisteiden sisällä densiteetin hajonta oli suuri. Pääosa painoväristä oli yleensä rasteripisteiden reunassa tummempina täplänä. Kaoliinipäällysteellä on peitteisellä pinnalla painoväriittömiä kohtia, mikä aiheuttaa myös densiteetin laskua.

Päällystämättömään laineriin verrattaessa sävypinnat tukkeutuvat hitaammin, painojäljen tasaisuus on parempi ja täyspeitteinen pinta on kiiltävämpi.

16. TULOKSIEN TARKASTELU

16.1. Koepäällystys (esikoe)

Päällysteen laadun kannalta parhaimpaan tulokseen päästiin 15° ja 40° teräkulmilla, mutta päällystykseen hallittavuuden vuoksi realistinen teräkulma-alue tuotantokoneella on 20 - 35°.

Kalanterointikokeet tukivat vastanäytekokeiden tuloksia osoittaen varsin selvästi PPS 10:n paremmuuden Bendtseniin verrattuna. Tämä johtunee lähinnä PPS-laitteen mittapään pienemmästä ja pehmeämmästä rakenteesta.

Vaaleuksista Y-arvo heikkenee voimakkaammin kalanteroinnissa, mikä johtuu päällysteen tiivistymisen voimakkaamasta vaikutuksesta valon laajempaan aallonpituusjakamaan.

Lujuusominaisuudet säilyivät vähintään pohjakartongin tasolla. Palstauma parani noin viidenneksellä, mikä johtunee pintakerroksen vahvistumisesta sideaineen imeytyessä.

Pinnan sileneminen ja kiillottuminen kalanteroinnissa laskee kitkakulman tasolle 20°, mikä saattaa aiheuttaa ongelmia valmiiden laatikoiden käsittelyssä.

Absorptio-ominaisuudet pienenevät päällystemäärän noustessa sekä kalanteroinnissa, mikä johtuu pinnan silenemisestä sekä huokosten pienenemisestä.

Höyryn käytöllä ei saavutettu odotettuja tuloksia, vaan vastoin odotuksia sileyys heikkeni. Tämä osoittaa yhdessä päällysteen kiinnitarttumisen kanssa, että kosteus vaikuttaa voimakkaasti päällysteen rakenteeseen.

Koepainatuksessa koepisteitä oli niukasti ja teräkulman muutokset hajottivat tuloksia jonkin verran, joten kovin luotettavia päätelmiä ei voi tehdä. Painojäljen kiiltoa paransi voimakkaimmin sileyden ja kiillon kasvu. Pisteiden leviäminen kasvoi päällystemäärän laskiessa, mikä huononsi suhteellista kontrastia.

Painojäljen laikullisuuden nousu päällystemäärän funktiona johtui todennäköisesti päällysteen painoväriä hylkivästä vaikutuksesta tai sideainepitoisuuden vaihteluista päällysteen pinnassa.

16.2. Varsinainen päällystyskoeajo

16.2.1. Päällystystulosten tarkastelu

Koeajossa käytetyllä pienkulmaterällä ajettaessa käytetään suurta teräpainetta, jolloin raina puristuu kokoon terän alla ja palautuu terän jälkeen entiseen muotoonsa (ns. Contour coating). Tällöin saavutetaan hyvä päällysteen peittokyky, mutta pinnan tasaisuus suuremmalla alueella on heikompi kuin suurkulmaterällä päällystettäessä, jossa pienen teräpaineen avulla saavutetaan epätasaisuuksia tasoittava vaikutus. Pienkulmapäällystyksellä saadaan kuitenkin aikaan tasaisempi pinta sekä pienen mittakaavan, esimerkiksi PPS, sileydessä että päällysteen z-suuntaisessa rakenteessa, jotka ovat tärkeitä fleksopainatuksessa.

Todettakoon, että kokeet kalsiumkarbonaattia sisältävillä pastoilla tehtiin vakio kuiva-ainepitoisuudessa, mutta tuotanto huomioiden parempi tapa olisi ollut vakio viskositeetti. Tällöin kalsiumkarbonaatin määrää nostamalla voidaan kuiva-ainepitoisuutta nostaa, jolloin kuivatustarve vähenee ja myös sileys saattaisi parantua.

Päällystyksessä vakavimman ongelman aiheutti päällysteen kiinnitarttuminen terästelan pintaan on-line soft-kalanteroinnissa. Tähän voi vaikuttaa useampi tekijä, esimerkiksi radan liiallinen kosteus, kalanterin liian suuri lämpötila

ja/tai viivapaine sekä kemikaalien suhteelliset osuudet. Pastan jälkikypsyminen puolestaan estää kiinnitarttumisen off-line kalanteroinnissa.

Kiinnitarttumisen koejärjestely osoittaa, että suuremmilla päällystemäärillä ainoastaan päällysteen pintakerros ehtii kuivua ja päällystekerroksen keskelle jää märempi vyöhyke. Soft-kalanterin nipissä paineen alaisena kuiva pinta hajoaa ja märkä pasta pääsee kosketuksiin kalanterin kuuman telan kanssa, jonka pintaan pasta sitten kuivuu.

Kiinnitarttumisen riskiä voitaisiin vähentää käyttämällä pastassa kovempaa lateksia sideaineena tai lisäämällä pastaan PVAc:ta, joka antaa huokoisemman pinnan.

Viirut syntyivät todennäköisimmin epäpuhtauksien tai kuitujen juuttumisesta terän alle. Viiruuntuminen ja teräparran muodostuminen lisääntyivät teräkuorman kasvaessa, mikä johtuu epäpuhtauksien vaikeutuneesta kulusta terän ali.

Tiheys ja paksuusarvojen perusteella näyttäisi ettei kalsiumkarbonaatin lisäyksellä saatu aikaan bulkin nousua. Tämä johtuu siitä, että pigmenttikerroksen paksuus on pieni ja se peittää pinnan epätasaisuuksia, jolloin paksuus pysyy vakiona ja tiheys nousee. Sen sijaan absorptioominaisuuksien kehittyminen osoittaa kalsiumkarbonaatin antavan huokoisemman päällysteen, mikä pitää yhtä teoriaosassa esitetyn alhaisemman muototekijän omaavan pigmentin aiheuttamasta epäjärjestyksen lisääntymisestä. Sekä Cobb 60, Cobb-Unger ja K&N kasvavat kalsiumkarbonaatin osuuden noustessa. Myös pohjakartongin karheus vaikuttaa absorptiokykyyn päällysteen peittokyvyn kautta siten, että karheampaa pohjakartonkia päällystettäessä absorptiokyky jää hiukan suuremmaksi.

PPS-karheus kuvaa paremmin sileän pinnan karheutta kuin Bendtsen, mikä johtuu PPS:n mittapään dimensioista ja pehmeästä alustasta. Kalsiumkarbonaattipitoisella päällysteellä saadaan parempi sileys suuremmasta bulkista ja siis

myös paremmasta peittävyyydestä johtuen etenkin pienillä päällystemäärillä. Usein jo 15 g/m²-taso antaa parhaimman tuloksen ja päällystemäärän edelleen noustessa sileys voi jopa heiketä. Voimakkaammalla kalanteroinnilla sileyttä voitiin parantaa merkittävästi. Päällystetyn kartongin sileyden parantuminen tapahtuukin helpommin soft-kalanteroinnin lisäyksellä kuin päällystemäärän nostolla. Pohjakartongeista sileimmän päällysteen pinnan antoi sileä absorboiva pohjakartonki, mikä johtuu teorian mukaan päällysteen läpituokeutuvien kuituflokkien määrän vähentymisestä. Absorptio-ominaisuuksien vaikutuksesta lopputuotteen laatuun on tehtävä varovaisia johtopäätöksiä, koska pilot-kokeissa rainan lämpötila ja siis myös absorptiokyky on huomattavasti alhaisempi kuin tuotantokoneella. Karhean pohjakartongin kokoonpuristuvuuden nousu soft-kalanteroinnissa ja päällystyksessä johtuneen pinnan rakenteen muuttumisesta sellaiseksi, että pieni paine ei saa aikaan muutoksia pinnassa, mutta suurempaa painetta käytettäessä rakenne muuttuu.

Kiilto kehittyy pitkälle samalla tavoin kuin sileyskin, eli sileyden parantuessa kiilto kasvaa. Sileyden heikentymisellä voidaan selittää myös kiillon laskua eräissä tapauksissa päällystemäärän noustessa (pasta 3). Pastalla 3 saatiin sen sijaan pienillä päällystemäärillä ja karheilla pohjakartongeilla paras kiilto, mikä johtuneen hyvästä peittokyvystä. Kiillon kannalta edullisinta on käyttää mahdollisimman sileätä pohjakarttonkia, joka antaa myös sileän ja helposti kiillottuvan päällysteen. Sileälle pohjalle paras pasta näyttää olevan pasta 2. Kiilto yli 30 % Hunter saavutettiin ainoastaan voimakkaammalla kalanteroinnilla. Kiillon vaihtelut johtunevat pohjan kosteusvaihteluista siten, että kosteammalla pohjalla saavutetaan parempi lopputuotteen kiilto.

Vaaleudessa saavutettiin selkeimmät tulokset. Vaaleuden nousussa kalsiumkarbonaatin osuus on voimakkain tekijä ja seuraavana on päällystemäärä, joka sekin korostuu kalsiumkarbonaatin määrän noustessa. Päällystemäärä on puolestaan huomattavasti määräävämpi tekijä kuin pohjakartonki.

Pastalla 3 vaaleuden nousu oli 3,5 - 5,5 %, kun kaoliinipastalla jäätettiin parhaimmillaankin alle 3 % vaaleuden nousun. Kalanteroinnin voimistaminen pienentää vaaleutta, joskin sen merkitys on melko pieni, noin 0,2 %. Vaaleustavoitteeseen 78 % ISO päästiin ainoastaan pastalla 3, ja pastalla 2 päästiin parhaimmillaan 77,5 % tasolle. Vaaleuteen vaikuttaa kuitenkin päällysteen ohella myös pohjakartongin sileys ja vaaleus, jolloin pintakerroksen raaka-ainekoostumus on keskeinen kysymys. Sileällä pohjakartongilla saavutetaan parempi vaaleus, mikä johtuu paremmasta peittävydestä.

Lujuusominaisuuksien kasvu päällystettäessä johtuu osittain neliömassan kasvusta, mutta pääsyy etenkin puhkaisulujuuden ja palstauman nousuun lienee pohjakartongin pinnan lujittuminen päällysteen sideaineen imeytyessä pintakerrokseen. Kitkakulman nousuun kalsiumkarbonaatin osuuden noustessa vaikutti sen epäsäännöllinen hiukkasmuoto levymäiseen kaoliiniin nähden, jolloin pinnan mikrokarheus kasvaa.

Fleksopainokoneella on lainerinäytteitä painettu melko vähän, joten kuivauksen optimia painojäljen laadun kannalta ei tiedetty. Painatuksessa käytettiin melko lievää kuivatusta, mutta joissain kokeissa oli kuivatuksen poistamisen huomattu parantavan painojäljen kiiltoa.

16.2.2. Painatustulosten tarkastelu

Pisteen kasvu oli yllättävän voimakasta, vaikka osa selittyykin painokoneen prosessitekijöistä, kuten vierinnästä painokoneen nipissä ja mahdollisesta liian suuresta painoväriin applikoinnista. Pisteen leviäminen vaikutti kaikkiin painojäljestä mitattuihin ominaisuuksiin. Se aiheutti densiteetin nousua sekä sen kautta tumman pään tukkeutumista ja suhteellisen kontrastin heikkenemisen. Pisteen leviämisen vähentäminen on siis tärkein tekijä lähdeettäessä parantamaan painojäljen laatua.

Suurempiin rasteritiheyksiin siirryttäessä eli rasteripisteiden lähentyessä toisiaan ja koon pienetessä kaoliinipasta yhä selvemmin aiheuttaa suurimman pisteen leviämisen, mikä johtunee päällysteen tiiviyyden lisääntymisestä. Käytettäessä päällystyksessä karheampia pohjakartonkeja oli pisteen leviäminen painatuksessa vakio rasteritiheydellä vähäisempää. Tämä johtunee huokoisuuden lisäksi niiden suuremmasta kokoonpuristuvuudesta.

Koetulosten perusteella paras rasteritiheys on 34 l/cm. 54 l/cm on ehdottomasti liian tiheä ja 44 l/cm rasteritiheydelläkin pisteenkasvu on lähes yhtä voimakasta. 24 l/cm antaa hyviä tuloksia, mutta yksityiskohtien toistokyky on puolestaan heikko.

Visuaalisessa tarkastelussa havaittuihin tummempiin nipin suuntaisiin juoviin (Moire-efekti) on todennäköisesti syynä jatkuvat nopeusvaihtelut painokoneen nipissä. Kaoliinipäällysteellä painoväri ei pystynyt peittämään täysin pinnan epätasaisuutta, vaan painopintaan jäi 'neulanpää' reikiä. Tämä huomataan myös täyspeitteisen pinnan densiteettiarvoissa. Karheilla pinnoilla painotulos oli peitteisillä pinnoilla samantapainen kuin kaoliinipäällysteellä. Tämän lisäksi karheilla pinnoilla painojäljen epätasaisuus sävypinnoilla oli voimakasta.

Suurimmat densiteetit saatiin sävypinnoilla samoissa näytteissä, joissa oli voimakkain pisteen leviäminen. Densiteetissä merkittävimmät vaihtelut aiheutuivat pisteen leviämisestä. Pisteen leviämisestä johtuu myös densiteetin nousu rasteritiheyden kasvaessa. Samanlaisia pohjakartonkeja käytettäessä täyspeitteisen pinnan densiteetti nousi karheuden pienentyessä.

Sävypintojen painojäljen densiteettiä voidaan parantaa sileämmällä, kokoonpuristuvammalla ja vaaleammalla pinnalla. Sileyden vaikutus olisi todennäköisesti voimakkaampi, jos sileillä näytteillä absorptiokyky olisi pienempi. Toisaalta taas absorptiokyvyn lasku edellyttää kalsiumkarbonaatin määrän vähentämistä, jolloin myös vaaleus laskee

ja sitä kautta densiteetti. Täyspeitteisellä pinnalla densiteetti nousi absorptiokyvyn ja vaaleuden noustessa, mistä voidaan päätellä, että kalsiumkarbonaatin määrän lisäys päällysteessä nostaa densiteettiä. Tämä johtunee osan liian suuresta painovärin määrästä imeytyessä syvemmälle päällysteeseen, mutta silti pintaankin jää tarpeeksi painoväriä. Karheimmilla näytteillä saavutettu melko hyvä densiteetti johtunee osaltaan muita suuremmasta kokoonpuristuvuudesta. Sekä pisteen leviäminen että suhteellinen kontrasti on laskettu hyväksikäyttäen täyspeitteisen ja jonkin sävypinnan densiteettejä, joten niiden antamat tulokset ovat samansuuntaisia.

Suhteellisen kontrastin kannalta on edullista mahdollisimman korkea peitteisen pinnan densiteetti ja mahdollisimman pieni 70 % pinnan densiteetti. Voimakkaimmin suhteelliseen kontrastiin vaikuttaa pisteen leviäminen esimerkiksi rasteritiheyttä nostettaessa. Kalsiumkarbonaatin määrän noustessa peitteisen pinnan densiteetti kasvaa voimakkaammin kuin 70 % pinnan, jolloin suhteellinen kontrasti kasvaa. Kasvu johtunee kalsiumkarbonaatin kaoliinia alhaisemmasta pintaenergiasta, jolloin painoväri ei imeydy liian syvälle ja se pysyy optisesti aktiivisena, sekä pinnan mikrokarheudesta, mikä vähentää pisteen leviämistä. Rasteritiheyden noustessa sävypintojen densiteetti nousee pisteenkasvun vuoksi, jolloin suhteellinen kontrasti pienenee.

Pidemmällä 5,4 mm aallonpituudella kalsiumkarbonaatin määrän vähentäminen vähentää painojäljen laikullisuutta sävypinnoilla, kun taas täyspeitteisellä pinnalla painojäljen laikullisuus lisääntyi sekä aallonpituusalueella 5,4 että 1,8 mm kalsiumkarbonaatin määrän vähentyessä. Eri pohjakartonkeja vertailtaessa painojäljen laikullisuus oli vähäisintä painettaessa näytettä, jonka pohjakartonki oli sileätä ja absorboivaa. Pastareseptiä valitessa tulisi ottaa huomioon millaisia painotöitä tehdään. Painettaessa paljon peitteisiä pintoja tulee kalsiumkarbonaatin määrän olla melko suuri ja sävypintoja painettaessa kaoliinipasta antoi useimmiten pienimmän painojäljen laikullisuuden.

16.3. Tulosten luotettavuus

Tuloksien yhteydessä on liitteissä 13-15 ja 19-21 ilmoitettu niiden keskihajonnat ja mittausten lukumäärä, joista voidaan edelleen laskea kaavan (3) ja liitteen 23. taulukon avulla 95 %:n luottamusväli. Otokset oletetaan normaali-jakautuneiksi.

$$\bar{x} \pm t_{1-\alpha/2}(n-1) * s / \sqrt{n} \quad (3)$$

missä \bar{x} on otoskeskiarvo

$t_{1-\alpha/2}(n-1)$ on liitteen 23. taulukosta
saatu t-jakauman arvo

s on otoskeskihajonta

n on havaintojen lukumäärä

Mittautulosten määrän jäädessä pieneksi (kolme tai alle), ei tuloksissa ole ilmoitettu hajontoja.

17. EHDOTUKSET JATKOTUTKIMUKSIKSI

Kokeellisen osan päällystyskoeajoa suoritettaessa ilmeni, että päällyste tarttui on-line soft-kalanteroinnissa kiinni soft-kalanterin sileään telaan. Tutkimukset ongelman selvittämiseksi alkoivat hetimiten, koska tulosten tulisi olla käytettävissä ennen lokakuussa tapahtuvaa käyntiinlähtöä.

Toisena jatkokokeita vaativana kohteena on päällysteen kiinnitarttumista sivuava aihe eli pastareseptin kehittäminen karhealle kartongille ja soft-kalanterointiin sopivammaksi. Tämä olisi myös sopiva uuden diplomityön kohde, jossa voitaisiin tutkia myös kalsiumkarbonaatin käytöllä saatavat edut vakio viskositeettitasolla.

18. KOKEELLISEN OSAN YHTEENVETO

Esikokeiden perusteella White Topin laatu vaihtelee tuotannossa melko paljon. Kokeissa käytetyillä näytteillä absorptio-ominaisuudet vaihtelevat tarpeeksi laajasti. Sileyserotkin ovat tarpeeksi isot, etenkin jos huomioidaan soft-kalanteroidut näytteet.

Eri pastoilla tai pohjakartongeilla ei esiintynyt päällysteen soft-kalanteroinnin kiinnitarttumisen lisäksi ongelmia päällystyksessä, joten tulosten lopullinen analysointi voidaan aloittaa painojäljen laadusta.

Painatuskokeiden tuloksiin vaikutti voimakkaasti suuri pisteen leviäminen, mikä heikentää painatustulosten luotettavuutta. Lisäksi tuloksissa olevat erot ovat erittäin pieniä, joten niiden perusteella on vaikea tehdä pitkälle meneviä johtopäätöksiä.

Ennen päällystystä soft-kalanteroiduilla pohjakartongeilla saatiin parhaat tulokset painojäljen kiillossa ja pisteenkasvussa. Painojäljen laikullisuus oli pienintä sileitä pintoja painettaessa, kun vastaavasti karheilla pinnoilla painojäljen laikullisuus oli voimakasta ja silmämääräinen tarkastelu osoitti painojäljessä olevan myös suurehkoja lähes painovärittömiä alueita.

Ulkonäköön ja käsiteltävyyteen vaikuttavia tekijöitä ovat kiilto, vaaleus ja kitkakulma. Pastareseptejä vertailtaessa kalsiumkarbonaatin käyttöllä saatiin paremmat tulokset kuin pelkällä kaoliinipastalla. Parhaimpiin tuloksiin päästiin mahdollisimman korkealla kalsiumkarbonaattipitoisuudella. Poikkeuksena on kiilto, jolloin kaoliinipasta antaa parhaan tuloksen. Käytännön syistä kalsiumkarbonaatin määrää joudutaan rajoittamaan ainakin päällystysyksikön käyntiinlähdössä hylkyongelmien vuoksi noin 25 %:iin. Vaaleuden nostamisessa on kiinnitettävä huomiota myös pohjakartongin vaaleuden ja sileyden parantamiseen.

Kokeiden tulosten perusteella parhaimpiin tuloksiin päästiin sileällä pohjakartongilla eikä absorptio-ominaisuuksilla ollut merkittävää vaikutusta päällysteen laatuun. Absorptio-ominaisuuksien merkitys tuotantokoneella on kuitenkin vaimakkaampi, johtuen rainan korkeammasta lämpötilasta päällystysvaiheessa. Soft-kalanteroidulla pohjakartongilla ei saavutettu paremmista painatustuloksista huolimatta merkittävää etua päällystyksessä.

Pohjakartongin laatu vaikuttaa lopputuotteen laatuun ja päällysteellä pystytään vain osittain kompensoimaan pohjakartongin virheitä. Esimerkiksi päällystyksen jälkeen pinnan sileys parani pohjan sileyden parantuessa ja samoin tapahtui vaaleuksien suhteen. Täten voidaan todeta, että pyrittäessä laadukkaaseen tuotteeseen on päällysteen lisäksi kiinnitettävä huomiota myös pohjakartonkiin.

19. YHTEENVETO

Diplomityön kirjallisuusosassa selvitettiin päällystykseen, soft-kalanterointiin ja fleksopainatukseen vaikuttavia tekijöitä. Teräpäällästyksessä tärkeimmät tekijät ovat pohjakartongin karheus ja absorptiokyky sekä pastan koostumus. Päällystytksen tavoin fleksopainatuksessa voimakaimmin vaikuttavat tekijät ovat pinnan karheus ja absorptiokyky.

Kokeellisessa osassa tutkittiin miten pohjakartongin karheus ja absorptio-ominaisuudet vaikuttavat päällysteen ja painojäljen laatuun. Pohjakartongin karheus PPS 10 vaihteli välillä 7,25 - 8,4 μm ja absorptio-ominaisuuksista Cobb-Unger vaihteli välillä 15,5 - 25,7 g/m^2 . Lisäksi selvitettiin pastan pigmenttikoostumuksen, päällystemäärän ja kalanterointivoimakkuuden vaikutusta päällysteen ja painojäljen ominaisuuksiin.

Pohjakartongin karheudella oli voimakkain vaikutus päällysteen laatuun. Mitä karheampi pohjakartonki oli sitä suurempi päällysteen karheus ja absorptiokyky sekä pienempi kiilto ja vaaleus. Nämä selittyvät päällysteen heikommasta peittokyvystä karhealla pinnalla, jossa on runsaasti päällysteen läpätunkeutuvia kuituja ja kuituflokkeja. Päällysteen huono peittävyys taas aiheutti painojäljen epätasaisuutta ja painovärittömiä kohtia, minkä vuoksi painotulos jäi heikommaksi. Päällysteen vaaleustasoon vaikutti pohjakartongin karheuden lisäksi sen vaaleus. Pohjakartongin absorptio-ominaisuuksilla ei ollut merkittävää vaikutusta päällysteeseen tai painojälkeen. Pohjakartongin osalta tuleekin päähuomio kiinnittää sileyden parantamiseen, koska tällöin lopputuotteen ominaisuudet paranevat ja toisaalta päällystyskustannuksia voidaan pienentää päällystemäärää vähentämällä.

Päällysteen kiillon ja vaaleuden osalta päällystemäärän nostolla voidaan kompensoida pohjakartongin heikkoa laatua, mutta karhealla pohjakartongilla ei saavuteta päällystemäärän nostolla samaa sileyttä kuin sileän pohjakartongin päällystyksessä. Lisäksi päällystemäärän noustessa päällystyksen hallittavuus ja kuivatus vaikeutuvat.

Päällystetyn pinnan soft-kalanteroinnin voimakkuutta nostamalla lisätään etupäässä pinnan sileyttä ja kiiltoa. Kiiltoon kalanteroinnilla oli muita muuttujia selvästi voimakkaampi vaikutus. Haittapuolena kalanteroinnin voimistamisella on vaaleuden ja kitkakulman heikkeneminen, joskin haitat jäävät vähäisemmiksi kuin saavutettavat edut.

Lisäksi tutkittiin pohjakartongin soft-kalanteroinnin ja päällysteen kalsiumkarbonaattiosuuden vaikutusta lopputuotteen laatuun. Pohjakartongin soft-kalanteroinnilla saavutettiin selvää etua lopputuotteen vaaleudessa ja myös kiilto oli korkea ja absorptiokyky alhainen. Painatuksessa saavutettiin korkein painojäljen kiilto ja pienin pisteenkasvu. Pohjakartongin soft-kalanteroinnilla ei jääty missään ominaisuudessa heikommaksi konekalanterointiin verrattuna, joten välikalanterin muuttamiseksi soft-kalanteriksi ei ole kartongin laadun kannalta esteitä. Päällysteen kalsiumkarbonaattiosuuden noustessa vaaleus nousi huomattavasti. Samalla absorptiokyky kasvoi. 50 % kalsiumkarbonaattiosuudella kiilto laski hivenen, kun päällystemäärä oli yli 15 g/m². Painatuksessa kalsiumkarbonaattia sisältävälle päällysteelle saatiin tasaisempi painojälki.

LÄHDELUETTELO

1. HILTUNEN, A., Koneuusinnan vaikutus lainerin rakenteeseen ja ominaisuuksiin. Diplomityö. Helsingin teknillinen korkeakoulu, puunjalostusosasto. Espoo, 198. s.
2. MAURANEN, P., Tärkeimmät paperi- ja kartonkilajit. Paperin valmistus. Toim. A. Arjas. Julk. SPIY/TTA. Turku 1983. s. 368, 379.
3. LEPOUTRE, P., INOUE, M., Glueability at the corrugator. Tappi Journal 72(1989)11. s. 113 - 120.
4. Aaltopahvin valmistus ja jalostus. Puusta paperiin M-604. Metsäteollisuuden työnantajaliitto. Myllykoski 1981. 106 s.
5. Properties of pigment-coated paper. Toim. J. P. Casey. Pulp and paper chemistry and chemical technology. 3.rd edition, vol.4. New York 1983. s. 2182 - 2269.
6. SAVOLAINEN, A. M., Päällystetyn kartongin painatusominaisuuksien muodostuminen. Oy Keskuslaboratorion seloste 1477. 56 s.
7. KARTOVAARA, I., Coatweight distribution and coating coverage in blade coating. Paperi ja puu 71(1989)9. s. 1033 - 1042.
8. GANE, P. A. C., HOOPER, J. J., An evaluation of interactions between coating colour and base paper by coating profile analysis. Fundamentals of papermaking. Toim. Baker, C. F., Julk. Mechanical Engineering Publications Limited. s. 871 - 893.
9. SUURSALMI, J., Pohjapaperin absorption vaikutus päällästystulokseen suurilla leikkausnopeuksilla. Oy Keskuslaboratorion seloste 1634. 108 s.

10. JUNTUNEN, S., Kartongin päällystyspastan ja -laitteiden hallintasuureiden selvitys. Oy Keskuslaboratorion seloste 1698. 89 s.
11. ENGSTRÖM, G., JOHANSSON, P-Å., RIGDAHL, M., Factors in the blade coating process which influence the coating mass distribution. Fundamentals of papermaking. Toim. Baker, C. F., Julk. Mechanical Engineering Publications Limited. s. 921 - 950.
12. LEHTINEN, E., Päällystysteknologian luentomoniste, osat 4 ja 8. Espoo 1988. 99 s.
13. RANTANEN, R., Kartongin pigmenttipäällystyksen erityispiirteet ja kehityssuunnat. Helsinki 1985. Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus, Julkaisu 80-85. 17 s.
14. KAHILA, S., Päällystystapahtuma. Helsinki 1982. Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus, Julkaisu 171-82. 20 s.
15. GAVELIN, G., Stort intresse för mjukkalandering. Svensk Papperstidning 92(1989)14, s. 36 - 43.
16. Esitemateriaali. Valmet Paper Machinery.
17. ASCHAN, P-J., Pohjakartongin luonnehtimisen merkitys päällysteen laadun kannalta, osa 1. Oy Keskuslaboratorion seloste 1485. 80 s.
18. MARDON, J. A., BERGOMI, J. G., COOPER, S. R., COX, C. D., ROBINSON, L. E., DeLISLE, J. C., ROCHELEAU, A. J., Control of basis weight and formation of coating raw stock. Tappi Journal 48(1965)6. s. 76A - 89A.
19. LEPOUTRE, P., The structure of paper coatings: An update. Julk. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Atlanta, Georgia 1989. 56 s.

20. KAHILA S. J., EKLUND D., Tutkimuksia teräpäällistyksen mekaniikasta, III päällystemäärään ennen terän kärkeä vaikuttavat tekijät. Oy Keskuslaboratorion seloste 1323. 67 s.

21. KAHILA, S. J., EKLUND, D., Tutkimuksia teräpäällistyksen mekaniikasta, päällystemäärään terän kärjen alla vaikuttavat tekijät. Oy Keskuslaboratorion seloste 1314. s. 13, 49, 50.

22. ENGSTRÖM, G., RIGDAHL, M., In situ studies of water drainage from wet coating layers. Coating Conference 1985. Atlanta, Georgia, May, 19-23, 1985. Julk. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Atlanta, Georgia 1985. s. 35 - 39.

23. SALMINEN, P., Pohjapaperin vesisorptio päällistystapahtumassa. Helsinki 1987. Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus, Julkaisu 101-87. 14 s.

24. STEPHANSEN, E. W., New applications of high intensity infrared to reduce binder migration on coating. Tappi 1985 Coating Conference. Atlanta, Georgia, May 19-23. Julk. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Atlanta, Georgia 1985. s. 139 - 146.

25. PAKARINEN, H., Pohjapaperin vaikutus päällistystulokseen. Päällistystekniikan seminaari. Helsinki 1988. Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus, Julkaisu 98-88. 27 s.

26. GOETZ, W. J., How basestock quality affects blade coater runnability. Tappi Blade Coating Seminar 1988. Portland, October 12-14, 1988. Julk. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Atlanta, Georgia 1988. s. 21 - 22.

27. EDWARDS, K. R., Wet end chemical effects on coating base stock quality. Tappi Base Stock Seminar. New Orleans, May 12-13, 1988. Julk. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Atlanta, Georgia 1988. s. 39 - 42.
28. BOWN, R., GANE, P. A. C., HOOPER, J. J., Strichdickeanalyse - Eine Untersuchung von Wechselwirkungen zwischen Streichfarbe und Rohpapier durch Strichprofilometrie. Wochenblatt für Papierfabrikation 116(1988)-19. s. 836 - 842.
29. ASCHAN, P-J., Pohjakartongin vaikutus päällystetyn kartongin laatuun. Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus, Julkaisu 178-85. Helsinki 1985. 23 s.
30. EKLUND, D., KAHILA, S. J., Tutkimuksia teräpäällistykseen mekaniikasta. Oy Keskuslaboratorion seloste 1397. s. 17 - 30.
31. ASCHAN, P-J., Päällystetyn kartongin painojäljen laikullisuudesta. Oy Keskuslaboratorion seloste 1718. 20 s.
32. LUCIANI, M., GALLONI, M., Base paper and coating colour in the trailing blade process. Dependence of coating weight on raw stock smoothness. Paper 190(1978)4. s. 183 - 189.
33. GANE, P. A. C., Mottle and the influence of coating and binder migration. Paper Technology 30(1989)4. s. 34 - 41.
34. LEPOUTRE, P., ALINCE, B., A model for predicting the roughness of blade-coated papers. Svensk Pappers-tidning 85(1982). s. R51 - R56.

35. BEACH, E. M., Forming a good coating base stock. Tappi Coating Basestock Seminar. New Orleans, LA, May 12-13, 1988. Julk. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Atlanta, Georgia 1988. s. 11 - 14.
36. ASCHAN, P-J., Pohjakartongin luonnehtimisen merkitys päällysteen laadun kannalta, osa 2. Oy Keskulaboratorion seloste 1533. s. 68.
37. VISTI, J., Veden aiheuttaman paperin ja kartongin pinnan karheneminen. Oy Keskuslaboratorion seloste 1629. 51 s.
38. VOELKER, M. H., Role of base sheet properties in the development of coated and supercalandered sheet properties. Tappi Journal 55(1972)2. s. 253 - 257.
39. STRAND, M., Pohjapaperin ja päällystysseoksen vuorovaikutukset. Helsinki 1982. Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus, Julkaisu 20-82. 23 s.
40. SALMINEN, P. J., Water transport into paper - the effect of some liquid and paper variables. Tappi Journal 71(1988)9, s. 195 - 200.
41. STRAND, M., Pohjapaperin ja päällystysseoksen vuorovaikutukset. Helsinki 1982. Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus, Julkaisu 171-82. 23 s.
42. VOELKER, M. H., Influence of base on coated and supered sheet properties. Paper Trade Journal (1971)6. s. 40.
43. LAINE, A., ASCHAN, P-J., Painopapereiden päällysteen kuivatustavan vaikutus paperin ominaisuuksiin. Oy Keskuslaboratorion seloste 1715. 119 s.
44. CLARK, N. O., WINDLE, W., BEAZLEY, K. M., Liquid migration in blade coating. Tappi Journal 52(1969)11. s. 2191 - 2202.

45. EKLUND, D., RENNES. S., The influence of binders on the structure and water sorption of coated paper. Paperi ja puu 72(1989)6. s. 698 - 703.

46. ADAMS, A. A., Effect of size press treatment on coating holdout. Tappi Blade Coating Seminar 1988. Portland, October 12-14, 1988. Julk. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Atlanta, Georgia 1988. s.23 - 30.

47. TEPPONEN, T., Painomenetelmät. Graafisen tekniikan perusteet. Helsinki 1984. s. 20 - 23.

48. COCO, C. E., WHALEN-SHAW, M. J., The effect of soy polymer-pigment interaction on blade runnability & coating structure. Tappi Blade Coating Seminar 1988. Portland, October 12-14, 1988. Julk. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Atlanta, Georgia 1988. s. 103 - 112.

49. ASCHAN, P-J., Päällystetyn paperin kuivatus. Helsinki 1982. Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus, Julkaisu 171-82. 15 s.

50. TIAINEN, P-R., Fleksopainatuksen paperille asettamat vaatimukset. Diplomityö. Helsingin teknillinen korkeakoulu, puunjalostusosasto. Espoo 1985. 80 s.

51. BAUMEISTER, M., Quality optimization by control of coating structure. Tappi Coating Conference 1979. Julk. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Atlanta, Georgia 1979. s. 11 - 14.

52. LEE, D. I., Coating structure modification and coating hold-out mechanisms. Coating Conference 1981. Houston, Texas. May 17-21, 1981. Julk. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Atlanta, Georgia 1981. s. 143 - 153.

53. KUNNOLA, V., Pastan peittokyky papereissa. Oy Keskuslaboratorion seloste 1740. s.
54. NIEMINEN, S., Painojäljen laikullisuus päällystetyillä offset laaduilla. Oy Keskuslaboratorion seloste 1653. s.
55. SUURSALMI, J., OITTINEN, P., The influence of different pigments on the coating layer surface structure. Svensk Papperstidning 86(1983)6, s. R48 - R54.
56. HAGEMEYER, R. W., The effect of pigment combination and solids concentration on particle packing and coated paper characteristics. Tappi Journal 43(1965)3. s. 277 - 288.
57. SANDÅS, P. E., SALMINEN, P. J., Water penetration in coated papers. Tappi Coating Conference 1987. Julk. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Atlanta, Georgia 1987. s. 97 - 101.
58. LEPOUTRE, P., De GRACE, J. H., MANGIN, J. P., Influenceness of coating absorbency on the printability of coated papers. Tappi Coating Conference. Cincinnati, Ohio, May 21-23, 1979. Julk. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Atlanta, Georgia 1979. s. 21 - 25.
59. BROCHNER, R. E., BEAZLEY, K. M., The influence of the coating pigment on missing dots in lightweight coated gravure paper. Tappi 1980 Coating Conference. Miami Beach, Florida, April 27 - May 1, 1980. Julk. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Atlanta, Georgia 1980. s. 3 - 10.
60. OITTINEN, P., Fleksopainomenetelmä. Helsinki 1985. Inisnöörijärjestöjen Koulutuskeskus, Julkaisu 228-85. 9 s.

61. HAGEMEYER, R. W., The effect of particle shape and chemical composition on the packing characteristics of pigment combinations. Tappi Journal 47(1965)2. s. 74 - 77.
62. DENNISON, S. R., Fine natural calcium carbonate in paper coatings. Tappi Journal 62(1979)1. s. 65 - 68.
63. ZELLER, R. C., Optical properties of calcium carbonate in paper coatings. Tappi Coating Conference 1980. Julk. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Atlanta, Georgia 1980. s. 103 - 109.
64. WINTGEN, M., Board coating with natural ground calcium carbonate in Europe: technology today. Tappi Journal 70(1987)5, s. 79 - 82.
65. HUGGENBERGER, L., KOGLER, W., ARNOLD, M., The future role of ground calcium carbonate in paper coating. Tappi Coating Conference 1979. Cincinnati, Ohio, May 21-23, 1979. Julk. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Atlanta, Georgia 1979. s. 41 - 48.
66. STRAND, M., Paperin ja kartongin päällystyksessä käytetyt side- ja lisäaineet. Suomalais-Neuvostoliittolainen painettavuus- ja päällystyssymposiumi. Moskova, SU, 28.2.-3.3.1983. 9 s.
67. SIPI, K., KARTOVAARA, I., NYBLOM, I., Paperin dynaaminen kokoonpuristuvuus ja päällystysainaiden termoplastisuus. Oy Keskuslaboratorion seloste 1671. 53 s.
68. OITTINEN, P., The surface structure of coated paper and the formation of gloss. The role of fundamental research in paper making. Toim J. Brander. Julk. Mechanical Engineering Publications Limited. London 1981. s. 635 - 651.

69. JUNTUNEN, S., Erilaisia pigmenttejä, osa 1. Oy Keskuslaboratorion seloste 1481. s. 8 - 24.

70. MARTENS, R., New synthtic pigment for the paper and board industries. 6e Renconfres internationales des industries papetieres. Septembere 27-29, 1988. s. 1 - 30.

71. LEPOUTRE, L., REZANOWICH, A., Optical properties and sructure of clay-latex coatings. Tappi Journal 60(1977)11, s. 86 - 91.

72. HOOVER, J. F., Styrene-butadiene latex in paper/paperboard coatings for blade-type coaters. Tappi Blade Coating Seminar 1988. Portland, October 12-14, 1988. Julk. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Atlanta, Georgia 1988. s. 119 - 128.

73. PROCTOR, A. R., HOOVER, J. F., Styrene-butadiene latex in paper and paperboard coating applications. Tappi Coating Binders Short Course 1990. Boston, May 17-18, 1990. Julk. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Atlanta, Georgia 1990. s. 93 - 108.

74. ARAI, T., YAMASAKI, T., SUZUKI, K., OGURA, T., SAKAI, Y., The relationship between print mottle and coating structure. Tappi Journal 71(1988)5. s. 47 - 52.

75. MILLER, G. D., Polyvinylalcohol - a speciality polymer for specialty papers. Tappi Coating Binders Short Course 1990. Boston, May 17-18, 1990. Julk. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Atlanta, Georgia 1990. s. 43 - 70.

76. OITTINEN, P., Painojäljen optisten ominaisuuksien epätasaisuuden analysointi. Helsinki 1982. Insinööri-järjestöjen Koulutuskeskus, Julkaisu 171-82. 7 s.

77. KALLIOLA, L., MÄLKÄÄ, H., Experiences on on-line soft calendering. Valmet surface finishing day. February 10, 1989. Järvenpää 1989. 7 s.

78. WINKELS, H., On- and off-line soft-calendering of coated and uncoated paper grades. The world pulp and paper week. Stockholm, Sweden, April 7-10, 1987. s. 762 - 771.

79. MÄLKÄÄ, H., Effects of calendering on quality and productivity of publication grades. Engineering Conference 1986. Atlanta, Georgia, September 22-25, 1986. Julk. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Atlanta, Georgia 1986. s. 761 - 764.

80. PEEL, J. D., SCHMIDT, H., Calendering with soft covered rolls at high temperatures. XXIII EUCEPA Conference. Harrogate, UK, May 31 - June 3, 1988. s. 511 - 535.

81. DOETSCH, H., PEEL, J. D., Soft calendering technique of today. Finnish Paper Engineers' Association Autumn Meeting. Helsinki, November 18, 1987. 18 s.

82. KIRVESKARI E., Suullinen tiedonanto, Valmet Research Center.

83. TUOMISTO, M. V., Why on-line soft calendering of coated papers look even more promising now. Tappi Coating Conference 1988. Julk. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Atlanta, Georgia 1988. s. 299 - 306.

84. BAUMGARTEN, H. L., Theorie und Wirkung der Sati-nage. Das Papier 28(1974)10A, s. V57 - V64.

85. CROTOGINO, R. H., Temperature-gradient calendering. Tappi Journal 65(1982)10. s. 97 - 101.

86. TEERIJOKI, P., Veden aiheuttama paperin pinnan karheneminen LWC-pohjapaperin kalanteroinnin ja massa-koostumuksen vaikutus. Oy Keskuslaboratorion seloste 1689. 53 s.
87. KARTOVAARA, I., SIPI, K., NYBLOM, I., KIVIKANGAS, K., Oy Keskuslaboratorion julkaisematon seloste.
88. SIPI, K., KARTOVAARA, I., Paperin ominaisuuksien kehittyminen superkalanteroinnissa. Oy Keskuslaboratorion seloste 1842. 39 s.
89. BERGH, N-O., SVENKA, P., Upgrading on newsprint paper by surface treatment. 75th Annual Meeting Technical Section, CPPA. Montreal, February, 2-3, 1989. s. B319 - B326.
90. WINKELS, H., SVENKA, P., On- and off-machine soft-nip surface finishing of coated groundwood and wood-free paper grades. Tappi Journal 71(1988)8. s. 97 - 103.
91. PALOKANGAS, E., The role of formation in hard nip and soft nip calendering process. The Institute of Paper Chemistry. Appleton, Wisconsin, June 5, 1989. 78 s.
92. SIPI, K., KARTOVAARA, I., Uudet kalanterointitekniikat sanomalehtipaperin valmistuksessa. Oy Keskuslaboratorion seloste 1806. 74 s.
93. SCHMIDT, H., PEEL, J. D., From matte to gloss. Tappi Coating Conference 1988. Julk. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Atlanta, Georgia 1988. s. 317 - 334.
94. TUOMISTO, M. V., SIPI, K., Hot soft-calendering of groundwood printing papers. Tappi Journal 73(1990)5. s. 131 - 135.

95. RIPPL, V., Current status of flexography. *Papir Celuloza* 39(1984)3. s. 47 - 49.
96. NEUMANN, R., Der heutige Stand des Flexodrucks. *Coating* 20(1987)6, s. 194 - 196.
97. SAARELMA, H., OITTINEN, P., Graafisen tekniikan perusteet. Otakustantamo n:o 513, Espoo 1988. 212 s.
98. ANTHONY, G. H., Flexography and the graphic arts. *Printing Processes*. New York 1972. s. 61.
99. HOFFMANN, B., Flexodruck in der Produktion - die 8-Farben-Flexodruckmaschine. *Coating* 22(1989)7. s. 256 - 258.
100. Jetzt kommt Farbe in die "Schwarze Zunft". *Neue Verpackung* 43(1990)3. s. 48 - 51.
101. TOLLETTE, H. B., Techniques for package printing and design. *Tappi Journal* 71(1988)9. s. 137 - 139.
102. BASLER, P., Post-printing advances rapidly. *Paperboard Packaging* (1990)4. s. 70 - 76.
103. The role of the substrate for improved colour printing. *International Paper Board Industry* 30(1987)8. s. 51-59.
104. HARTIKAINEN, K., Suullinen tiedonanto, Finnboard.
105. JENSEN, K. W., Bestruken linerkartongs flexotryckbarhet med beaktande av vidareförädling. Diplomarbete. Helsingin teknillinen korkeakoulu, puunjalostusosasto. Espoo 1988. 114 s.
106. SEPPÄ, T., Fleksopainettavat materiaalit. Helsinki 1985. Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus, Julkaisu 228-85. 13 s.

107. OITTINEN, P., Painovärin ominaisuuksien mittaaminen ja painovärin ja paperin vuorovaikutusten ennakoiminen niiden avulla. Oy Keskuslaboratorion seloste 1442. 35 s.
108. GINMAN, R., Nestepakkauskartongin ja valkopintaisen lainerin fleksopainatus. Oy Keskuslaboratorion raportti n:o 41, 1988. 2 s.
109. Gestrichene und ungestrichene Papiere im Flexodruck. Papier und Kunststoff Verarbeiter 1981:10, s. 68 - 71.
110. WILSON, L. A., The effect of paper properties on print quality. Tappi Coating Binders Seminar. New Orleans, May 12-13, 1988. Julk. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Atlanta, Georgia 1988. s. 5 - 7.
111. WEAVER, B., Substrates: properties and tests. Flexography principles and practices. New York 1980. s. 202 - 227.
112. SASAGAWA, Y., TSUJI, A., SAGIE, M., HIRAI, H., The effect of latex properties on paper coating structure. Tappi Coating Conference. Nashville, May 13-16, 1984. Julk. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Atlanta, Georgia 1984. s. 93 - 103.
113. POMMICE, J-C., POUSTIS, J., LALANNE, F., Testing the printability of board for flexography. Paper Technology 30(1989)8. s. 22 - 24.
114. VAN GILDER, R. L., PURFEERST, R. D., The effect of coating color solids on properties and surface uniformity. Tappi Journal 69(1986)5. s. 62 - 67.
115. MINGUS, S., Coated papers and their effect on flexo printing. Flexo 13(1988)12. s. 31 - 32.

116. ENGSTRÖM, G., STRÖM, G., NORRDAHL, P., Studies of the drying process and its effect on binder migration and offset mottle. Tappi Journal 70(1987)12. s. 45 - 49.
117. HAGLUND, N., Improving the printability of kraft-liner. Paper Trade International (1988)8. s. 265 - 267.
118. Esitemateriaali. Oy Keskuslaboratorio Ab.
119. MERILAHTI, M., Painovärin ja kartongin vuorovaikutus. Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus, Julkaisu 146-87. 14 s.
120. ASCHAN, P.-J., Pigmenttipäällysteen mikrosileyden parantaminen. Oy Keskuslaboratorion seloste 1550. s. 9 - 10.
121. NIEMI, K., Painojäljen epätasaisuuden määrittäminen kuva-analysointilaitteella. Oy Keskuslaboratorion raportti C592-43. 1 s.
122. Esitemateriaali. Ambertec beta formation tester. Lauttapaino, Tampere 1989. 6 s.
123. LAININEN, P., Todennäköisyyslasku ja tilastomatematiikka. Teknillisen korkeakoulun ylioppilaskunnan moniste n:o 462, 4. p. Espoo 1983. 254 s.

LIITELUETTELO

1. Nesteen penetrotumista kuvaavat yhtälöt.
2. Painomenetelmien laatukriteerejä.
3. Päällysteen eri ominaisuuksien vaikutus painojäljen laatuun.
4. Päällysteen rakenteen vaikutus tavallisimpiin painettavuutta kuvaaviin tekijöihin.
5. Päällystyskokeiden koesuunnitelma.
6. Kokeellisen osan määrittäyksissä käytetyt mittausmenetelmät.
7. Profiilikarhuden mittaus.
8. Suulakelevityslaitteen toimintaperiaate.
9. Painojäljen epätasaisuuden määrittäminen kuva-analysaattorilla.
10. Formaation mittaaminen.
11. Laatuvaihtelukokeiden tulokset.
12. Keskuslaboratorion fleksopainokoneen tekninen erittely ja käytetyn painovärin ominaisuudet.
13. Valmetin koepäällystyksissä käytetyn pohjakartongin ominaisuudet.
14. Valmetin päällystettyjen ja kalanteroimattimien kokeiden tulokset.
15. Valmetin päällystettyjen ja kalanteroitujen kokeiden tulokset.
16. Valmetin koepäällystyksen painatustulokset.
17. Keskuslaboratorion pilot-päällystyskoneen ominaisuudet.
18. Päällystyskokeissa käytetyt pastareseptit.
19. Päällystyskoeajon tulokset.
20. Pohjakartongin ja päällystetyn kartongin epätasaisuusjakaumat.
21. Päällystyskoeajon painatustulokset.
22. Päällystyskoeajon painatusnäytteitä.
23. t-jakauman q-pisteitä $t_q(v)$.

Nesteen penetroitumista kuvaavat yhtälöt /9,17/.

LUCAS-WASHBURN: $l^2 = r \cdot \tau \cdot \cos(\sigma) \cdot t / 2 \cdot n$

missä l on tunkeutumisvyvyys, kapillaarin pituus

r on kapillaarin säde

τ on nesteen pintajännitys

σ on kosketuskulma

t on aika

n on nesteen viskositeetti

DARCY: $Q = K \cdot A \cdot \Delta p / n \cdot L$

missä Q on nesteen tilavuusvirta ainekerroksen läpi

K on permeabiliteetti

A on materiaalin pinta-ala

Δp on materiaalin eri puolilla vallitseva paine-ero

L on materiaalin paksuus

HAGEN-POISSEULLE: $Q = \pi \cdot r^4 \cdot p / 8 \cdot l \cdot n$

missä p on ulkoinen paine

KOZENY-CARMAN:

$$R = f \cdot S \cdot (1 - P)^2 / P^3$$

missä R on suotautumisvastus

P on huokoisuus, kapillaarin tilavuus/
suodatinkakun tilavuus

S on ominaispinta, kapillaarien sisä-
pinta-ala tilavuusyksikössä kiinte-
ään materiaaliin

f on kerroin, joka riippuu kapillaarien
poikkipinnan muodosta

Painomenetelmien laatukriteerejä /120/.

	Arkkioffset	Syväpaino	Flexo
--	-------------	-----------	-------

Käyttötalous

-esivalmistelu, repro	keskinkert.	kallis	keskinkert.
-kuntoonlaitto, aloitus	hidas	nopea	nopea
-materiaalihukka	suuri	pieni	pienehkö
-valvonta	suuri	pieni	keskinkert.
-painoväri, hinta	keskinkert.	keskinkert.	keskinkert.

Painosmäärä- ja aihe

-painosmäärä, optimi	pienehkö	suuri tai toistuva	pieni- keskikoko
-aihio	arkki	jatkuva	arkki/jatk.

Ajettavuus

-painoalustavaatimus	vaativa	sileä	vähäinen
-ajon hallinta	työläs	helppo	helpohko
-painoväri reologia	tarkka	ei tarkka	ei tarkka
-painoväri kuivuminen	tarkka	ei tarkka	melko tark.
-kohdistus	ei ongelmia	ei ongelmia	ei ongelmia

	Arkkioffset	Syväpaino	Flexo
Painojälki			
-optiset ominaisuudet	hyvä	hyvä	koht/hyvä
-erotuskyky	hyvä	hyvä	kohtal.
-haju/maku	huono	hyvä	hyvä
-kuivuminen	hidas	nopea	nopea
-kerrosvahvuus (g/m ²)	1-2	4-8	3-6
Häiriöt			
-häiriöherkkyys	herkkä	varmatoim.	satunnais
-ajettavuus	väri-vesi	kart.	"suttaus"
	kuivuminen	päällyste	
-painettavuus	mottling	puuttuvat	rauhaton
		pisteet	jälki

Päällysteen eri ominaisuuksien vaikutus painojäljen laatuun /121/.

Päällysteen ominaisuudet	Peittävät pinnat			Rasteripinnat		
	Tummuus	Peittävyys	Tummuuden tasaisuus	Kiilto	Set-off	
Optiset ominaisuudet						
Vaaleus	++				+	+
Kiilto	+			+		
Rakenneominaisuudet						
Tilavuuspaino	+	+	-	+	+	-
Huokoisuus		-	+	-	-	+
Sileys	++	++		++	+	++
Kokoonpuristuvuus	+	+	+	-		+
Absorptio-ominaisuudet						
Pinnan absorptio			+	-	-	+
Kastuvuus	+	+	+		-	+

Merkit selittävät seuraavasti:

- ei vaikutusta tai pieni vaikutus
 - kohtalainen vaikutus merkin suuntaan
 - voimakas merkin suuntainen vaikutus
- ei merkkejä
+ tai -
++ tai --

Päällysteen rakenteen vaikutus tavallisimpiin painettavuutta kuvaaviin tekijöihin /6/.

TOPOGRAFIA

- OPTINEN KARHEUS
- MIKROSKOOPPIINEN KARHEUS
- MAKROSKOOPPIINEN KARHEUS

HUOKOSRAKENNE

- KESKIMÄÄRÄINEN HUOKOSSÄDE
- HUOKOSTILAVUUS, "VOID VOLUME FRACTION"
- TORTUOSITEETTI
- KOKOONPURISTUVUUS

PAINOJÄLJEN KIIILTO
PAINOJÄLJEN KIILLON EPÄTASAISUUS
PEITTEISEN PINNAN TÄPLIKKYYS
PEITTEISEN PINNAN DENSITEETIN
EPÄTASAISUUS
RASTERIPISTEEN TERÄVYYS
PUUTTUVAT PISTEET

X	X	
X	X	X
	X	X
	X	X
	X	X
	X	X
	X	X
X	X	X

PAINOVÄRIN (PIKA) ASETTUMINEN,
SET-OFF
VÄRINSIIRRON MÄÄRÄ PAINONIPISSÄ
LAKKAKIIILTO

X	X	X	
X	X	X	
			X
X	X	X	
X	X	X	
			X
X	X	X	
X	X	X	X
X			

RAKENTEEN MUODOSTUMISEEN VAIKUTTAVIA
TEKIJÖITÄ

- PÄÄLLYSTEMÄÄRÄ
- PIGMENTTISYSTEEMI
- SIDEAINETASO
- SIDEAINESYSTEEMI
- LISÄAINESYSTEEMI

Päällystyskokeiden koesuunnitelma.

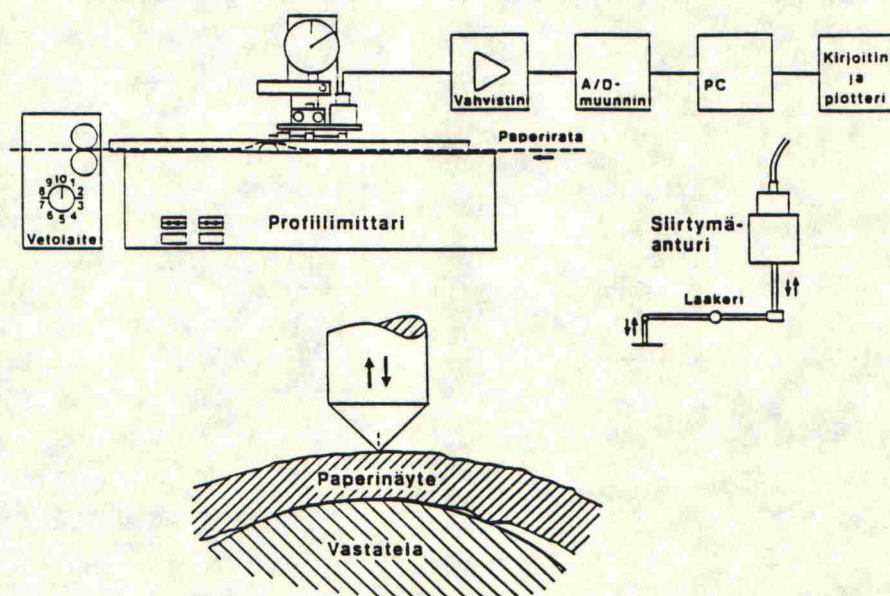
Päällystyskoeohjelma:						
N:o	Raakarulla	Soft	Pasta	Päälly.maara	Soft	Flekso
(Bendtsen. PPS. CU. huok.)		kN/m	N:o	g/m ²	kN/m	
1.1	565. 7.64. 23.34. 61.8	1	10	100		
2		1	10	150		
3		1	15	100		
4		1	15	150		x
5		1	18	100		
6		1	18	150		
7/2	573. 7.58. 23.31. 63.1	2	10	100		
8		2	10	150		
9		2	15	100		
10		2	15	150		x
11		2	18	100		
12		2	18	150		
13/3	597. 7.58. 23.57. 61.1	3	10	100		
14		3	10	150		
15		3	15	100		
16		3	15	150		x
17		3	18	100		
18		3	18	150		
19/9	518. 7.66. 15.69. 97.0	1	10	100		
20		1	10	150		
21		1	15	100		
22		1	15	150		x
23		1	18	100		
24		1	18	150		
25/10	490. 7.60. 15.41. 84.9	2	10	100		
26		2	10	150		
27		2	15	100		
28		2	15	150		x
29		2	18	100		
30		2	18	150		
31/11	448. 7.71. 16.15. 90.3	3	10	100		
32		3	10	150		
33		3	15	100		
34		3	15	150		x
35		3	18	100		
36		3	18	150		
37/17		1	10	100		
38		1	10	150		
39	Rulla puuttui?	1	15	100		
40		1	15	150		x
41		1	18	100		
42		1	18	150		
43/18	654. 7.38. 21.3. 77.0	2	10	100		
44		2	10	150		
45		2	15	100		
46		2	15	150		x
47		2	18	100		
48		2	18	150		
49/19	625. 7.83. 23.6. 81.6	3	10	100		
50		3	10	150		
51		3	15	100		
52		3	15	150		x
53		3	18	100		
54		3	18	150		
55/9078	1350 ml/min	150	2	10	100	
56		150	2	10	150	
57		150	2	15	100	
58		150	2	15	150	
59		150	2	18	100	x
60		150	2	18	150	
62/9079		2	10	100		
63		2	10	150		
64		2	15	100		
65	??	2	15	150		
66		2	18	100		
67		2	18	150		
68		150				

Kokeellisen osan määrittelyssä käytetyt mittausmenetelmät.

Näytteiden ilmastoituminen testausta varten	SCAN-P2:75
Neliömassa	SCAN-P6:75
Paksuus	SCAN-P7:75
Tiheys	SCAN-P7:75
Bendtsen-karheus	SCAN-P 21:67
PPS-10 karheus 981 kPa 10 kg/cm ³ (S10)	SCAN-P 21:68
PPS-20 karheus 1962 kPa	SCAN-P 21:68
Ilmanläpäisyvastus G-H	SCAN-P 19:78
Mullen	SCAN-P 25:68
RCT	SCAN-P 34:71
Palstautuma	Tappi RC 308
Kitkakulma	Tappi T 815
Cobb 60 s	SCAN-P 12:64
Öljynabsorptio, Cobb-Unger 10 s	SCAN-P 37:77
Öljynabsorptio, K&N	BS 4574
ISO-vaaleus	SCAN-G 1:75
Y-arvo	SCAN-G 1:75
Kiilto, Hunter	Tappi T 480
Tuhka	SCAN-P 5:63
Brookfield viskositeetti	SCAN-P 50:84
Tulosten luotettavuus	SCAN-G 2:63

Profiilikarheuden mittaus.

Keskuslaboratoriossa on kehitetty laite paperin pinnan profiilin tarkkaan mittaukseen. Laitteiston kaaviokuva on esitetty kuvassa 1. Se koostuu mittakärjestä ja siihen liittyvästä siirtymäanturista, mittauselektronikasta, tietokoneesta sekä näytteensiirtomekanismista. Mittarilla tehtäviä analyysseja ovat profiilin jakautuman määrittäminen ja kuoppaisuusanalyysi sekä erikseen suoritettava pintaprofiilin piirto.

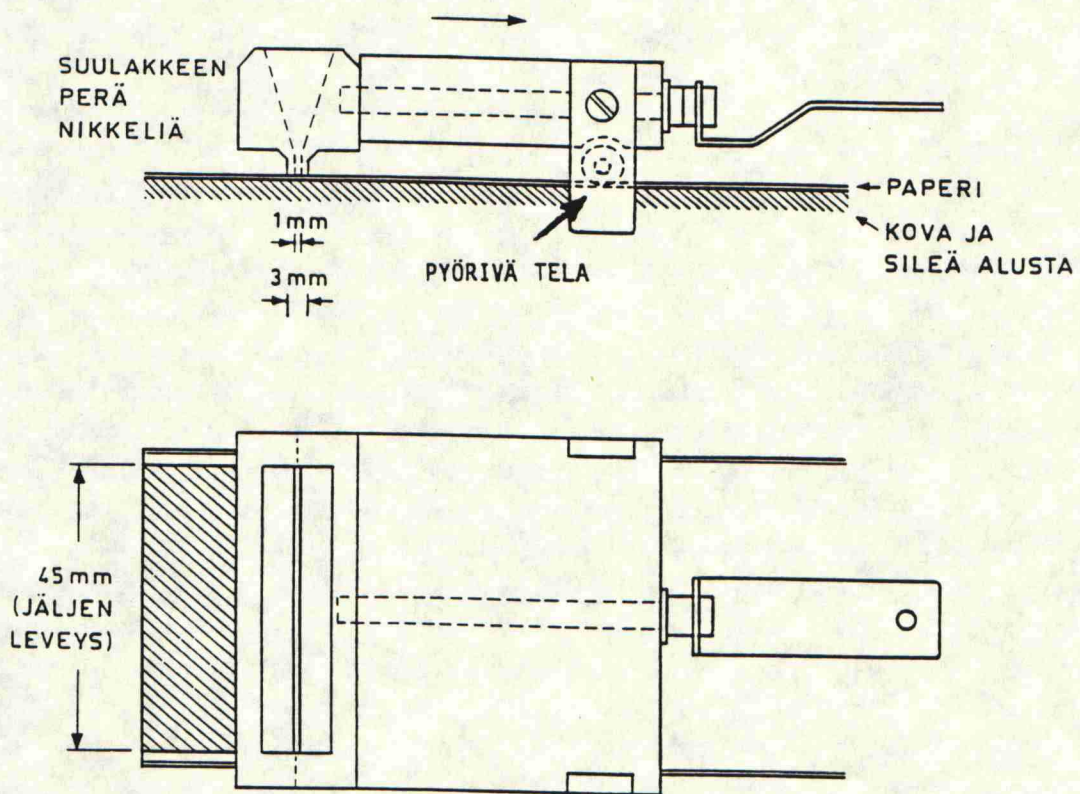


Kuva 1. Kaaviokuva paperin pinnan karheuden mittauslaitteesta.

Profiilianturina toimii herkästi laakeroitu neula, jonka neulavoima on 0,4 g ja kärjen pyöristyssäde 4 μm . Näytettä liikutetaan neulan alla nopeudella 0,8 mm/s ja neulan paperin pintaa seuraava liike muutetaan sähköiseksi signaaliksi. Anturin paksuussuuntainen mitta-alue on noin $\pm 50 \mu\text{m}$ ja resoluutio paksuussuunnassa on parempi kuin 0,5 μm . Ennen A/D-muunninta signaalista suodatetaan yli 1333 μm ja alle 20 μm paksuusvaihtelut.

Suulakelevityslaitteen toimintaperiaate /37/.

Suulakelevityslaitteella voidaan tehdä mittauksia absorptioajoilla 0,01 - 1,00 s, jolloin saadaan selville absorptiokyvyn kehittyminen ajan kasvaessa. Suulakkeen rakenne on esitetty kuvassa .



Kuva 1. Suulakelevityslaitteen suulakkeen rakenne ja mitat.

Suulake liikkuu tietyllä nopeudella paperin pintaa pitkin, jolloin osa vedestä peittää paperin pinnan epätasaisuudet ja osa absorboituu pintakerrosten sisään. Suulakkeen nopeuden avulla voidaan säätää aikaa, jonka suulakkeen rako on paperin pinnan päällä. Ajan ollessa lyhyt siirtyy vain karheustilavuuden tarvitsema määrä vettä ja ajan pidetessä vesimäärät kasvavat absorption myötä. Laitteen toimintaperiaatteesta johtuen tulokset kuvaavat kapillariabsorptiokykyä.

Painojäljen epätasaisuuden määrittäminen kuva-analysaattorilla /120/.

Painojäljen epätasaisuutta voidaan tutkia kuva-analysaattorilla mittaamalla näytteestä muodostetun harmaasävykuvan sävyjakauma. Kuvan sävyjakauman heikkoutena on ettei se ilmaise epätasaisuuden kokoa, joka on tärkeä visuaalisessa tarkastelussa.

Digitaalisen kuvankäsittelyn avulla saadaan kuva, joka sisältää vain tietyn kokoalueen epätasaisuuden. Mikäli kyseisellä kokoalueella painojälki on tasaista, on mitattu sävyjakauma kapea. Epätasaisuuden voimistuessa sävyjakauma levenee. Jakaumasta laskettua hajontalukua, kuten varianssia, voidaan siten käyttää epätasaisuuden voimakkuutta kuvaavana tunnusluvuna. Yhdistämällä eri kaistat saadaan epätasaisuuden kokojakuma eli tehospektri.

Painojäljen epätasaisuutta kuvaavana tunnusluvuna voidaan käyttää joko kokoalueen 1,5 - 9,0 mm kaistojen varianssien summaa tai jonkin alueen kaistan varianssia. Diplomityön määrityksissä käytettiin kaistan 1,8 ja 5,4 mm varianssia. Mitä suurempi luku on, sitä epätasaisempaa on painojälki. Huomattava on, että tunnusluvun arvo riippuu painoväristä ja sävyprosentista.

Formaation mittaaminen /121/.

Formaation mittauksessa käytettiin betasäteilyyn perustuvaa AMBERTEC Beta Formation Tester -laitetta. Betamittaus on optisia formaatiomittareita luotettavampi, koska paperin materiaalikoostumus ja optinen heterogeenisyys eivät vaikuta tuloksiin. Säteilylähteenä toimii Prometium-147, jonka nimellinen aktiivisuus on 8 mCi (296 MBq). Näytteiden neliömassa-alue ulottuu 20 - 300 g/m².

Standardimäärittäyksessä arkista mitataan 400 pisteen neliömassa

70 x 70 mm² alueelta, jossa pisteiden välimatka on 3,5 mm. Mittaustapa on askeltava eli näyte ei liiku mittaushetkellä, jolloin mittaustarkkuus on hyvä. Mittausaukon halkaisija on 1 mm ja pulssin laskenta-aikaa voidaan säätää neliömassasta riippuen 0,1 - 20 s. Mittauspisteiden lukumäärä ja mittausalueen pituus ovat säädettävissä.

Laatuvaihtelukokeiden tulokset.

Tambuurin n:o	Arkin n:o	Neliönmassa g/m ²	Paksuus µm	Tiheys kg/m ³	Bendtsen ml/min	PPS 10 µm	PPS 20 µm	PPS 10-20 µm	10-20/10 µm	Huokoisuus s	Huok.p s	Cobb-linger g/m ²	K&N %	Cobb 60 g/m ²
Loka 17	24636	9	151	187	807	1073	8.18	7.31	0.87	0.106	105.2	43.5	20.6	20
		13		184	821	725						23		20.9
18	24658	1	149	173	861	761	7.7	6.53	1.17	0.152	90.9	42.9	26.6	26
		9		178	837	705						15.7		25.9
19	24680	9	149	180	828	645	7.95	6.97	0.98	0.123	88	32	24.8	21.8
		11		181	818	693						19.5		22.4
19	24689	9	150	183	814	815	8.04	7.05	0.99	0.123	72.8	31.7	19.9	25.3
		13		184	815	646						19.9		21.7
20	24702	7	149	180	817	591	7.87	7.76	1.11	0.141	63	26.8	21.1	31.8
		9		182	824	716						21.5		33.9
20	24704	1	151	180	844	869	7.93	6.71	1.22	0.154	80.1	37.4	17.5	33.1
		16		182	824	968						20		29.7
Marras 2	25039	6	150	188	798	844	8.1	7.19	0.91	0.112	76.2	28.1	21.6	24.7
		9		186	801	860						20.6		22.9
2	25049	6	151	188	803	706	8.04	7.06	0.98	0.122	96.2	31.8	20.6	24.6
		11		190	789	792						20.2		23.5
3	25060	9	148	189	796	798	7.9	6.86	1.04	0.132	75.5	27	21.9	30.4
		13		184	804	620						22.7		29.6
16	25469	9	150	180	828	798	7.81	6.67	1.14	0.146	74.7	27.4	22.8	28.2
		11		190	789	650						21.4		26.1
17	25484	1	150	186	806	1270	8.2	7.17	1.03	0.126	111.1	45.7	23.6	23.8
		16		189	788	1321						21.4		23.6
17	25488	4	150	186	806	866	8.13	7.2	0.93	0.114	106.5	38	20.1	24.4
		13		189	788	1134						21.2		24.8
18	25515	4	149	192	776	904	8.16	7.31	0.85	0.104	85.7	33.1	21.4	25.1
30	25883	7	149	178	826	684	8.05	7.19	0.86	0.107	79.6	49	20	22.5
		11		185	811	814						20		21.7
30	25892	9	150	181	834	601	7.89	6.9	0.99	0.125	113	44.9	18.8	20.4
		16		177	842	846						15.9		20.5
Joulu 1	25894	6	149	177	842	659	7.89	6.94	0.95	0.12	136.6	59.8	18.1	21.2
		7		176	841	625						14.4		22.7
2	25924	6	149	176	847	539	7.74	6.74	1	0.129	86.1	50.2	18.1	28
		7		175	846	502						18.4		22
14	26332	4	151	184	821	654	7.93	6.82	1.11	0.14	128.9	44.3	19.9	22.6
		9		186	806	760						15.6		22.6
14	26344	6	150	185	811	702	7.9	6.86	1.04	0.132	105.1	25	22.5	24.1
		9		191	785	899						22.4		24.9
15	26356	1	149	184	804	1183	7.81	6.6	1.21	0.155	150.1	44.8	18.1	23.6
		16		171	871	940						20.4		23

Tambuuri n:o	Arkin n:o	Nellimassa g/m2	Paksuus um	Tiheys kg/m3	Bendtsen ml/mln	PPS 10 um	PPS 20 um	PPS 10-20 um	10-20/10 luokoisuus s	luok.pi s	Cobb-Unger g/m2	K&N %	Cobb 60 g/m2		
Tammil 4	114	4	151	189	799	825	7.84	6.78	1.06	0.135	111	33.3	19.9	37.2	22.9
		6		190	789	959							21		22.6
5	121	6	148	191	780	1044	8.05	7.08	0.97	0.12	122.1	33.8	19.9	37.6	25.5
		11		180	817	855							23.2		29.2
5	131	6	151	191	785	622	7.58	6.42	1.16	0.153	107.9	24.9	25.4	36.8	31.1
		7		188	803	543							25.5		25
18	488	9	151	192	781	907	8.1	7.16	0.94	0.116	85.3	37.9	19.8	37.4	22.5
		11		191	791	752							19.4		23.5
19	498	7	149	181	829	855	8.01	6.9	1.11	0.139	101.9	34.1	22.4	38.1	24.1
		9		187	791	891							22.6		24
19	507	9	150	183	820	739	7.76	6.53	1.23	0.159	123	36.1	22.4	37.5	25.9
		13		188	798	949							19.4		25
19	514	7	148	184	810	587	7.55	6.31	1.24	0.164	106.4	40.5	18.7	35.6	24.8
		11		182	808	668							21.8		25.6
19	521	7	148	179	827	492	7.54	6.32	1.22	0.162	92.3	35.1	20.1	37.8	22.8
		9		186	796	591							18.8		24.4
20	525	4	150	190	789	899	8.15	7.12	1.03	0.126	81.4	32	22.8	37.9	23.4
		13		197	761	1296							23.5		23.6
Helmi 4	944	4	152	192	786	757	8.29	7.41	0.88	0.106	85.1	42.8	19	37.6	32.5
		13		191	796	960							21.4		32
5	948	7	150	191	785	1082	8.48	7.68	0.8	0.094	89.9	39.9	19.5	38.8	26.6
		9		191	785	1140							24.6		26.2
5	951	6	151	187	802	1215	8.52	7.77	0.75	0.088	113.1	51.6	18.4	37.8	25.2
		11		190	795	1285							20		26.2
5	966	9	150	188	798	893	8.43	7.65	0.78	0.093	96.1	35	21.1	40	32.2
		13		186	806	1009							22.9		32.6
15	1254	6	151	191	785	811	8.36	7.43	0.93	0.111	70.3	25.3	27.9	42.6	31.7
		11		192	786	1025							25.5		29.2
15	1256	6	150	182	824	623	8.08	7.09	0.99	0.123	73	29	25.7	40.3	29.6
		11		185	805	693							31.1		27.8
16	1268	9	143	180	800	653	8.21	7.4	0.81	0.099	62.7	26.2	26.4	42.1	35.8
		13		182	780	871							27.3		31
16	1284	6	151	197	766	1118	8.03	6.98	1.05	0.131	71.4	21.1	31	41.8	20.4
		11		191	785	1453							34.8		22.4

Keskuslaboratorion fleksopainokoneen tekninen erittely ja käytetyn painoväriin ominaisuudet /118/.

Rullan halkaisija 135 - 800 mm ja maksimi rainan leveys 320 mm. Painatuspituus on enintään 1180 mm ja rakenneno-peus 600 m/min. Kaksi painoyksikköä päällekkäin samalla rungolla, etäisyydellä 850 mm. Painatusmahdollisuudet 1+0 ja 2+0.

Kromatun vastatelan halkaisija on 160 mm ja teräksisen painolevytelan halkaisija on 379 mm. Painolevynä käytettiin BASF:n valmistamaa Nyloflex MA:ta, jonka paksuus oli 1,70 mm. HL-Grafian valmistama rasteritela on keraamisesti pinnoitettu ja laserkaiverrettu 140 l/cm ja kupin syvyys 15 µm. Painoväriin syöttö tapahtuu rasteritelalle injektio menetelmällä myötä- ja vastakaavarin väliin. Väriin kaavinta tapahtuu nailonista valmistetulla negatiivisella kaavarilla. Telojen asemointi tapahtuu askelmoottorilla 5 µm:n välein. Painoväri kuivatetaan infrapunakuivaimella, jonka maksimiteho on 42 kW.

Painoväriinä käytettiin vesipohjaista syaania Scanink Aquaflex 105-sarja. Viskositeetti säädettiin vesilisäyksellä (400 ml/15 l) 22 sekuntiin mitattuna DIN 4-kupilla. Kuivumista hidastettiin etyleeniglykolilla (100 ml/15 l). Väriin kuiva-ainepitoisuus oli 46,4 % ja pintajännitys 36,1 mN/m.

Valmetin koepäällystyksissä käytetyn pohjakartongin ominaisuuudet.

Koepiste n:o	Mitt.lkm	Ilajonta	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
Neliönassa g/m2	5	0.1	126.4	128.8	127.2	126.4	126.4	128	124	124	127.2	128.8	126.4	127.2
Paksuus um	20	2.1	168.5	170.7	168.1	167.8	170.6	171.6	167.3	166.3	167.6	168.8	168.2	170
Tiheys			750	755	757	753	741	746	741	746	759	763	751	748
Bendtsen ml/min	25	100	730	750	752	640	709	678	701	681	587	692	692	806
PPS 10 um	20	0.21	8.01	8.09	8.02	7.87	8.18	7.95	8.03	8.05	7.95	7.98	8.13	8.13
PPS 10 - PPS 20 um			0.77	0.78	0.7	0.78	0.63	0.71	0.55	0.67	0.69	0.66	0.6	0.61
Mullen kPa	40	50	616	671	611	637	726	672	673	625	663	689	712	709
RCT kN/m (ps)	10	0.1	1.64	1.72	1.54	1.64	1.75	1.71	1.59	1.4	1.73	1.78	1.68	1.66
Palstauma J/m2	20	23	282	305	296	303	330	276	311	311	273	304	305	246
IGT-suomustuma	4	0.07	1.35	1.5	2.05	1.35	1.6	1.7	2	2	1.6	1.9	1.9	1.8
Cobb 60 g/m2 (pl)	2	-	20	21	21	20	20	21	21	21	21	21	20	21
Cobb 60 g/m2 (po)	2	-	21	22	22	22	22	22	23	21	22	22	23	23
Klitkakuluma	3	-	27.5	25.1	27.3	26.3	27.2	21.8	26	26.8	27.1	17.2	20.2	26.6
Vaaleus ISO %	20	0.45	73.4	73.8	73.6	73.3	73.3	73.5	73.2	73.4	73.5	73.4	73.3	73.3
γ-arvo %	20	0.38	76.1	75.9	76.1	76.1	76.1	75.9	75.8	75.8	76.2	76.1	76	75.9
Plinta g/m2	2	-	70.5	74.3	70.7	70.5	71.9	72.8	70.4	70.4	72.5	69.7	68.8	71.9
Tuhka %	1	-												3.57
Cobb-Unger 10 g/m2	2	-	22.35	22.68	22.64	23.86	22.65	23.61	23.56	26.32	22.9	26.85	25.09	23.25
K & N %	4	0.9	40	41.1	41.5	45.9	43.1	42.7	42.8	42.3	40.2	40	39.8	39.3

Valmetin päällystettyjen ja kalanteroimattomien kokeiden tulokset.

Koepiste n:o	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219
Koneolot:													
Päällimäärä g/m ²	17.8	12.4	9.2	8.2	9.6	12.2	12.3	12.3	18	18	21.2	21.5	14.1
Kuormitus mm	1.64	2.51	3.8	5.02	7.31	5.01	7.11	4.91	9.91	9.91	9.71	3.76	2.66
Teräkulma	40	40	40	40	20	20	21	21	15	15	15	21	30
Mittaukset:													
Mitt. lkm													
Hajonta													
Päällimäärä g/m ² ka	16.85	11.4	8.6	8.1	10	12.1	11.75	13.35	18.55	16.15	19.35	20.95	13.45
Päällimäärä g/m ²	15.9	10.4	8	8	10.4	12	11.2	14.4	19.1	14.3	17.5	20.4	12.8
Neliönassa g/m ²	142.3	139.2	135.2	135.2	136.8	138.4	139.2	138.4	143.1	141.5	146.3	147.1	140
Paksuus um	173.1	171.8	167.6	168.2	171.7	170.4	174	172.3	171.5	171.8	176.2	178	168.7
Tiheys	822	810	807	804	797	812	800	803	834	824	830	826	830
Benditsen ml/min	207	321	303	306	369	380	264	293	264	164	190	228	257
PPS 10 um	5.55	5.92	5.77	6.04	6.72	6.97	5.88	6.41	5.82	5.2	4.98	5.79	6.29
PPS 10 - PPS 20 um	1.06	1.19	1.16	1.21	1.3	1.21	1.17	1.2	1.11	0.97	0.89	1.11	1.2
Mullen kPa	649	704	672	648	655	712	694	664	679	682	718	692	736
RCT kN/m (ps)	1.78	1.94	1.82	1.78	1.8	1.89	1.93	1.74	1.75	1.94	2.06	1.98	1.93
Palstauma J/m ²	307	295	292	282	303	298	269	289	369	274	295	315	305
IGT-sucumustuma	0.4	0.4	0.4	0.45	0.4	0.5	0.45	0.4	0.75	0.45	0.55	0.6	0.6
Cobb 60 g/m ² (pi)	26	26	25	26	26	26	26	26	27	26	26	26	26
Cobb 60 g/m ² (po)	22	23	23	23	22	22	23	22	23	22	22	23	23
Kitkakulma	24.1	26.4	24.9	25.1	23	24.7	22.3	25.8	24.3	26.5	22.3	24.9	24.5
Vaaleus ISO %	78.3	77.8	77.3	77.3	77.7	77.8	78	78	78.6	78.4	78.7	79	78.2
Y-arvo %	81.3	80.6	79.8	79.9	80.2	80.6	80.8	80.7	81.5	81.5	81.8	82	81.2
Pinta g/m ²	87.4	80.8	80.8	77.1	81.6	82.3	84.3	81.3	87.3	85.5	87.8	92.1	85.4
Tuhka %	17.43	12.89	11.92	11.59	12.24	13.36	13.99	16.21	18.68	16.77	17.08	18.2	17.55
Cobb-Unger 10 g/m ²	2.78	2.62	2.82	2.74	3.43	3.41	3.32	3.49	3.32	3.08	3.19	3.55	3.65
K & N %	15.5	20.6	22	24.6	24.2	27.7	24.1	25	18.8	19.7	20.3	17.5	22.3
Vaaleusero %	4.9	4	3.7	3.7	4.4	4.5	4.5	4.8	5.2	4.9	5.3	5.7	4.9
Y-arvo ero %	5.2	4.7	3.7	3.8	4.1	4.5	4.9	4.9	5.7	5.3	5.7	6	5.3

Koepiste n:o	717	716	715	714	711	708	721	722	723	720
Koneolot:										
Viivakuorma kN/m	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Lämpötila C	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
Höyrytys kg/h/m							8	13	21	
Mittaukset:	Mitt.lkm	Hajonta								
Neliömassa g/m2	5	0.2								
Paksuus um	20	2.4								
Tiheys										
Bendtsen ml/min	25	35								
PPS 10 um	20	0.25								
PPS 10 - PPS 20 um										
Mullen kPa	40	39								
RCT kN/m (ps)	10	0.08								
Palstauma J/m2	20	43								
IGT-suomustuma	4	0.04								
Cobb 60 g/m2 (pi)	2	-								
Kitkakulma	3	-								
Vaaleus ISO %	20	0.3								
Y-arvo %	20	0.26								
Cobb-Unger 10 g/m2	2	-								
K & N %	4	0.7								
Kiilto-Hunter % ks	10	1.2								
	146	142	138	151	141	142.2	140	140	139	146
	166	166	162	163	167	162.8	159	162	163	164
	880	855	852	926	844	874	881	864	853	890
	137	246	184	263	314	174	193	202	241	158
	3.97	4.76	4.09	4.91	5.57	3.9	4.48	4.52	5.36	4.21
	0.91	1.33	1.02	1.12	1.35	0.9	1.06	1	1.72	0.83
	642	667	652	634	665	706	647	649	648	680
	1.54	1.8	1.5	1.43	1.76	1.84	1.63	1.64	1.71	1.5
	351	313	340	345	355	253	324	342	330	384
	0.45	0.55	0.4	0.4	0.6	0.4	0.5	0.45	0.5	0.4
	24	25	24	25	24	25	25	26	26	24
	19.5	23.3	19.3	19.7	21	21	21.5	20.8	21.7	18.5
	78.3	77.3	77.3	77.2	77.2	77.2	76.8	76.7	76.8	78.3
	80.5	79.4	78.8	79	79.5	79.2	79.1	78.9	79	80.1
	2.16	1.99	2.25	2.55	2.14	2.87	2.35	2.26	2.25	2.54
	11.2	12.2	16.4	19	15.9	15.8	16.8	17.3	14.4	14.1
	29.6	23.4	29.7	24.1	23.6		30.6	31.6	33.6	30.3

Valmetin koepäällystyksen painatustulokset.

Koepiste	713	712	714	720	719	715	717
Teräkulma	15	15	20	21	21	40	40
Päällmäär	16.15	19.35	10	18.55	20.95	8.6	16.85
Prof.karh	1.85	2.03	3.1	2.35	2.15	2.57	2.19
Kuoppatil	8	8.7	13.3	10.1	9.3	11.1	9.4
Abs.öljy	4.05	4	3.57	2.52	3.08	3.44	2.21
Abs.vesi	1.56	1.08	1.22	1.46	0.87	2.01	0.89
34 l/cm							
Dens 40	0.47	0.46	0.5	0.48	0.45	0.48	0.48
Dens 70	0.91	0.88	0.81	0.83	0.83	0.89	0.86
Dens 100	1.35	1.35	1.23	1.26	1.32	1.28	1.28
Suht.kont	0.33	0.35	0.34	0.34	0.37	0.3	0.33
Pistkasvu	29.2	28.4	32.7	30.8	27.8	30.6	30.6
P.kiilto	52.1	50.7	42.3	50.3	52.1	47.2	49.5
Kiilto	24.8	28.8	24.1	30.3	29.8	25.1	29.6
Laik D 70	5	5.9	4	4.2	3.9	4.2	3.7
Laik D100	8.2	10.5	5.8	9.6	7.8	5.4	8.2
44 l/cm							
Dens 40	0.52	0.51	0.54	0.51	0.55	0.53	0.53
Dens 70	0.88	0.86	0.87	0.92	0.87	0.95	0.87
Dens 100	1.35	1.33	1.21	1.26	1.25	1.26	1.24
Suht.kont	0.35	0.35	0.28	0.27	0.3	0.25	0.3
Pistkasvu	33.1	32.5	35.8	33.1	36.1	34.6	34.8
Laik D70	5.7	6.9	8.5	7.2	5.6	6.2	5.9
Laik D100	8.2	10.5	5.8	9.6	7.8	5.4	8.2

Keskuslaboratorion pilot-päällystyskoneen ominaisuudet
/118/.

Pilot-laitteisto on otettu käyttöön 1985. Maksimi nopeus on 1400 m/min. Pohjapaperin neliömassa voi vaihdella välillä 20 - 300 g/m². Käytetyn rullan halkaisijan maksimi 1300 mm ja radan leveys 600 mm.

Leijukuivainten maksimi lämpötila 400 °C. Ennen soft-kanterian ei ollut esilämmitintä. Pehmeän telan kovuus on 91 Sh D. Terästela on induktiolämmitteinen.

Päällystyslaitteistot:

Teräpäällystin

Sauvakaavain

Telapäällystin

Ilmahaara

Laminointi: 7-30 µm alumiinifolio

Kuivaimet: Infrapunakuivain

3 leijukuivainta

Instrumentointi: Roibox; noin 30 erilaista mittausta

Päällystyskokeissa käytetyt pastareseptit.

Päällystyspastan n:o	1	2	3

SPS-kaoliini (ECC-International)	100	75	50
HC 90 kalsiumkarbonaatti (OMYA)	-	25	50
Finn Fix 5 CMC (Metsä-Serla Oy)	1	1	1
Dow 685 SB-lateksi (Dow-Suomi Oy)	15	15	15
Kenores 1420 märkälujahartsit (Algol Oy)	0.5	0.5	0.5
Nopco C104 Ca-steearaatti (Nopco Oy)	0.5	0.5	0.5

pH tavoite: 8-8.5	8.2	8.1	8.1
Kuiva-ainepitoisuus tavoite: 62 %	62	62	62
Brookfield 100 / mPas	1920	1790	1310
50 / mPas	3260	3010	2200
Ferranti-Shirley (20900 1/s) / cP	95	100	60

Päällystyskoeajon tulokset.

Mittausten lkm	Päällysmäärä g/m ² tav.	Viivapaine kN/m	Heliomassa g/m ² 5	Hajonta	Tuhka %	Päällysmäärä g/m ²	Paksuus mm 20	Hajonta	Tiheyys kg/m ³	Bendtsen mi/min 20
Pasta 1										
Pohja 4			151	0.3	3.6		187	2.3	807	446
Päällystetty	18		166	0.53	18.23	19.5	192	2.4	865	178
Soft	10	100	161	0.3	12.92	12.4	184	2.1	875	124
	10	150	161	0.2	13.32	12.9	181	2	890	94
	15	100	162	0.4	15.09	15.3	186	1.9	871	135
	15	150	164	0.5	15.77	16.2	183	1.4	896	129
	18	100	167	0.5	17.02	17.8	188	1.6	888	145
	18	150	167	0.7	17.27	18.2	184	2.4	908	111
Pohja 9										
Päällystetty	18		152	0.52	3.6		180	1.2	844	454
Soft	10	100	166	0.46	17.88	19.0	188	1	883	122
	10	150	160	0.57	12.45	11.8	180	2.3	889	129
	10	150	161	0.42	12.17	11.4	178	2.1	904	104
	15	100	164	0.45	15.51	15.8	182	1.8	901	97
	15	150	166	1.21	16.28	16.9	180	2.1	922	86
	18	100	166	0.43	17.53	18.5	183	1.1	907	109
	18	150	167	0.44	18.04	19.2	180	2	928	109
Pasta 2										
Pohja 2			150	0.4	3.6		186	2.2	806	466
Päällystetty	18		169	0.51	17.73	20.4	194	1.8	939	98
Soft	10	100	166	0.4	12.27	12.5	182	2.2	912	118
	10	150	160	0.3	12.47	12.8	188	1	851	104
	15	100	165	0.4	16.05	17.9	185	2.2	1086	84
	15	150	166	0.2	15.71	17.4	181	1.8	917	87
	18	100	171	0.2	16.63	19.1	188	1.9	910	91
	18	150	170	0.3	17.52	20.1	183	2	929	82
Pohja 10										
Päällystetty	18		150	0.5	3.6		181	2.2	829	437
Soft	10	100	172	0.39	16.89	19.1	188	2.1	915	111
	10	150	159	0.38	10.61	10.1	178	2	893	106
	10	150	160	0.25	10.58	10.1	176	1.9	909	106
	15	100	166	0.33	13.97	14.9	180	1.5	922	84
	15	150	165	0.32	14.72	16.0	180	2.1	917	100
	18	100	169	0.36	15.42	17.0	182	1.7	929	66
	18	150	168	0.42	15.69	17.4	180	1.2	933	84
Pohja 18										
Päällystetty	18		151	0.4	3.6		184	3.4	821	547
Soft	10	100	169	0.54	16.25	18.2	192	3.7	880	181
	10	150	160	0.43	11.03	10.7	179	2.4	894	148
	15	100	160	0.49	11.34	11.2	176	1.5	909	136
	15	150	165	0.69	14.7	16.0	181	2.4	912	130
	15	150	165	0.25	14.81	16.2	180	2.1	917	105
	18	100	167	0.58	15.79	17.6	185	2.7	903	110
	18	150	166	0.28	15.79	17.6	182	1.2	912	104
Pohja 9078										
Kalanteroitu		150	150				202	2.8	743	947
Päällystetty	18		151	0.36	3.6		185	2.6	816	383
Soft	10	100	167	0.47	17.17	19.6	192	2.8	870	183
	10	150	160	0.31	11.86	11.9	182	2.6	879	129
	10	150	158	0.53	12.05	12.2	174	1.8	883	140
	15	100	160	0.53	14.9	16.3	178	1.6	899	114
	15	150	166	0.38	15.27	16.8	184	2.8	902	113
	18	100	167	0.54	18.24	21.1	186	2.5	898	120
	18	150	168	0.46	18.74	21.8	184	2	913	98
Pohja 9079										
Kalanteroitu	puuttuu	0	151	0.5	3.6		204	2.7	740	1187
Päällystetty	15		168	2	14.81	16.2	204	2.6	824	345
Soft	10	100	161	0.34	13.17	13.8	186	2.3	866	192
	10	150	162	0.51	12.31	12.6	184	2.4	880	200
	15	100	165	0.64	16.25	18.2	191	2.4	864	202
	15	150	164	0.42	16.18	18.1	184	2.7	891	170

	Hajonta	PPS 10	Hajonta Kok.pur.	Mullen	Hajonta	RCT	Hajonta Palstauma	Hajonta Kitkakulma	IGT-suom			
		um	um	kPa		kN/m	J/m2	o	m/s			
Mittausten lkm	20	20	20	20	10	20	2	2	2			
Pasta 1												
Pohja 4	68	7.25	0.29	1.13	752	46	1.9	0.07	215	8	23.5	1.65
Päälystetty	40	5.25	0.18	1.13	741	48	2.14	0.11	218	16	22.3	0.6
Soft	23	3.82	0.2	1.07	770	46	1.97	0.05	290	31	20	0.55
	22	3.45	0.15	1	764	38	1.96	0.04	281	25	21.8	0.5
	24	4.28	0.16	1.11	757	50	1.9	0.08	293	28	20.8	0.55
	25	3.83	0.13	0.96	766	51	1.95	0.08	307	31	19.5	0.55
	35	4.13	0.19	1.01	799	36	1.97	0.07	288	28	20	0.55
	25	3.89	0.16	1.02	762	38	2.05	0.06	291	22	19.5	0.55
Pohja 9												
Päälystetty	22	5.47	0.22	1.08	850	42	2.09	0.1	235	18	21.5	0.95
Soft	32	4.25	0.16	1.06	824	48	2.01	0.08	206	12	20	0.7
	26	4.04	0.24	1.11	838	43	1.97		214	10	21	0.8
	20	4.29	0.16	0.93	846	49	2.05	0.07	210	12	22.8	0.7
	26	3.98	0.11	0.98	844	58	2.02	0.08	287	27	20	1.3
	29	4.16	0.19	0.97	821	52	2.12	0.13	223	11	23.8	0.85
	21	4.01	0.13	0.99	841	55	2.13		212	12	24	0.75
Pasta 2												
Pohja 2	89	7.46	0.22	1.11	720	64	1.81	0.08	254	0.165	20.3	1.3
Päälystetty	17	4.84	0.2	1.07	753	42	2.17	0.07	214	15	25	0.5
Soft	19	3.58	0.13	1.09	735	46	1.95	0.06	269	26	20.3	0.55
	25	3.38	0.15	1.05	771	51	1.94	0.04	251	17	22.5	0.5
	22	3.54	0.12	0.93	707	50	1.85	0.1	272	21	21.8	0.5
	26	3.31	0.12	0.92	776	34	2.06	0.07	275	24	23	0.55
	19	3.45	0.16	0.89	775	53	2.05	0.07	279	33	22.3	0.6
	17	3.24	0.08	0.84	761	53	1.99	0.06	268	27	22.3	0.65
Pohja 10												
Päälystetty	25	4.77	0.16	0.95	835	44	2.09	0.11	218	9	24.8	0.75
Soft	19	4.23	0.19	1.09	818	52	2.02	0.08	208	10	21	0.75
	19	3.83	0.16	1.02	825	46	2.05	0.09	204	8	23	0.7
	25	4.09	0.18	0.94	839	47	2.08	0.07	210	9	22.5	0.85
	33	3.83	0.13	0.94	849	48	1.98	0.05	290	21	23	0.95
	12	3.86	0.15	0.87	843	34	2.12	0.07	210	12	22	0.7
	25	3.73	0.21	0.9	831	55	2.1	0.12	204	13	23.8	0.85
Pohja 18												
Päälystetty	88	8.09	0.14	1.01	697	45	1.52	0.07	298	29	20.3	1.75
Soft	20	5.72	0.3	1.39	700	47	1.89	0.07	237	14	24.8	0.6
	24	4.54	0.23	1.36	749	35	1.78	0.12	219	10	21.8	0.45
	21	4.14	0.23	1.32	738	27	1.79	0.06	297	47	21.5	0.5
	17	4.36	0.24	1.15	742	39	1.9	0.06	224	14	22	0.45
	22	4.12	0.22	1.11	724	51	1.82	0.05	288	15	22.8	0.7
	20	4.4	0.2	1.14	775	50	1.81	0.07	221	23	21	0.5
	21	4.27	0.24	1.19	748	44	1.89	0.08	224	14	22.3	0.5
Pohja 9078												
Kalanteroitu	110	8.69	0.07	0.46	779	27	1.83	0.13	353	51	20.5	2.55
Päälystetty	104	7.27	0.26	0.73	783	30	1.77	0.09	303	23	21.3	1.5
Soft	42	5.19	0.17	1.21	769	41	2.14	0.05	227	12	24	0.45
	22	4.01	0.16	1.15	758	53	2.08	0.1	244	11	22.8	0.5
	32	3.99	0.2	1.24	748	54	2.05	0.09	319	22	20.8	0.55
	29	4.15	0.14	1.13	823	50	1.89	1.03	277	23	18.8	1
	26	3.9	0.12	1.12	760	31	2.14	0.06	248	17	21	0.45
	36	4.13	0.16	1.13	720	47	2.08	0.08	242	14	23.5	0.5
	33	3.74	0.15	1.03	760	46	2.07	0.06	306	15	22.5	0.55
Pohja 9079												
Kalanteroitu	151	8.54	0.1	0.53	765	63	1.98	0.05	260	21	23	2.17
Päälystetty	56	6.64	0.34	1.45	813	50			395	67	23.3	0.6
Soft	51	4.63	0.12	1.36	777	58	2.14	0.05	239	13	19.8	0.5
	46	4.57	0.15	1.3	777	54	2.04	0.09	244	10	18.9	0.45
	53	4.97	0.15	1.2	791	43	2.17	0.05	252	14	20.5	0.5
	39	4.58	0.11	1.17	792	47	2.12	0.07	244	16	21.8	0.5

	Vaaleus ISO %	Hajonta	Y-arvo %	Hajonta	Kiilto ks %	Hajonta	Kiilto ps %	Hajonta	Cobb 60 g/m2	CobbUnger g/m2	K&N %	Hajonta
Mittausten lkm	10		10		20		20		2	2	8	
Pasta 1												
Pohja 4	72.9	0.49	75	0.21	7.3	0.83	6.1	0.84	24	23	37.2	1.26
Päällystetty	76.3	0.21	79.2	0.21	13.2	0.55	13.3	0.54	23	1.54	15.9	0.84
Soft	75.5	0.24	78.3	0.34	27.1	1.47	21.5	0.73	24	1.04	10	0.71
	75.1	0.27	77.8	0.31	31.1	1.09	23.3	0.89	23	1.13	9.3	0.64
	75.7	0.23	78.5	0.24	26.3	1.43	19.7	0.42	22	1.09	10.1	0.62
	75.4	0.21	78.4	0.2	29.6	1.4	22.4	0.68	20	1.02	9.1	0.74
	75.8	0.28	78.8	0.22	27.5	1.8	21.6	1.15	18	1.21	9.4	0.69
	75.3	0.14	78.2	0.18	31	1.43	23.5	1.06	15	1.59	8.5	0.49
Pohja 9												
Pohja 9	73.5	0.42	75.2	0.56	7.2	0.44	6.3	0.48	22	15.8	33	0.53
Päällystetty	76.6	0.19	79.6	0.28	13.6	0.61	12.8	0.78	21	1.57	12.2	0.48
Soft	75.8	0.19	77.9	0.41	22.9	1.18	19.6	0.72	19	1.18	9.4	0.71
	75.9	0.32	78.1	0.32	26	1.5	21.6	0.97	18	1.18	9.5	0.74
	76.2	0.28	78.5	0.25	23.7	1.45	21.1	1.1	13	0.96	9.9	0.29
	75.8	0.3	78.7	0.24	29.4	0.77	24.5	1.18	14	1.09	8.6	0.66
	76	0.17	78.8	0.22	27.9	1.42	22.8	0.76	13	1.1	7.1	0.59
	75.9	0.19	78.6	0.24	31.3	1.46	24.6	0.73	10	0.97	7.3	0.6
Pasta 2												
Pohja 2	73.1	0.3	75	0.38	7.4	1.13	6.2	1.09	22	25.7	41.6	1.2
Päällystetty	78.3	0.43	80.9	0.25	12.7	0.59	12.5	0.3	24	2.29	13.7	0.53
Soft	76.5	0.22	79	0.21	27	1.08	21.3	0.64	25	1.62	22.7	2.7
	76.4	0.28	78.7	0.33	28.8	0.62	22.7	0.53	25	1.53	22.7	3.4
	77.1	0.18	79.8	0.23	28.5	1.26	22.2	0.6	24	1.57	11.2	0.72
	76.9	0.12	79.6	0.25	32.8	1.26	24	0.77	22	1.29	9.5	0.63
	77.4	0.1	80	0.11	29.4	1.35	22.7	0.87	21	1.67	10	0.45
	77	0.23	79.9	0.18	33.2	1	24.5	0.7	21	1.55	9.2	0.3
Pohja 10												
Pohja 10	73.6	0.41	75.4	0.36	7	0.35	6.2	0.34	20	15.5	35	0.97
Päällystetty	78.4	0.23	80.8	0.12	13.6	0.23	13.4	0.33	22	2.49	13.4	0.84
Soft	76.6	0.14	78.8	0.25	21.5	1.16	19.1	0.61	22	1.93	15.2	0.62
	76.5	0.18	78.6	0.21	24.7	1.24	21	0.58	22	1.7	12	0.35
	77.3	0.21	79.6	0.19	23.6	0.93	20.4	0.5	19	2	13.1	0.87
	77.2	0.15	79.5	0.19	27.7	1.41	22.7	0.76	19	1.51	9.3	0.76
	77.5	0.09	79.9	0.22	27.6	1.93	22.6	0.68	17	1.95	9.7	0.52
	77.3	0.21	79.7	0.26	29.7	2.16	23.9	0.92	16	1.74	9.5	0.52
Pohja 18												
Pohja 18	73.6	0.32	75.5	0.33	7	0.36	5.5	0.37	26	25.3	38.6	0.65
Päällystetty	78.6	0.14	80.8	0.16	13.5	0.75	12.3	0.4	27	2.47	15.2	0.84
Soft	76.5	0.13	78.8	0.16	26.4	1.12	19.5	0.72	25	1.94	13.1	0.39
	76.4	0.18	78.8	0.37	28.3	2.5	21.5	0.47	25	1.75	12.2	0.13
	77.2	0.24	79.6	0.17	27.1	0.95	20.3	0.8	22	2.07	12.2	0.76
	77.3	0.18	79.6	0.16	28.9	0.36	22.6	0.66	25	1.64	13.8	0.53
	77.6	0.24	80.3	0.21	27.6	1.51	21.5	1.11	23	1.83	9.8	0.67
	77.5	0.21	79.9	0.19	30.9	1.26	22.3	0.66	23	1.73	9.2	0.91
Pohja 9078												
Pohja 9078	73.3	0.41	75.3	0.39	6.1	0.19	4.7	0.2	28	27.58	45.1	1.03
Kalanteroituu	73.4	0.42	75.5	0.36	14.4	0.88	10.8	0.98	28	19.5	34.9	0.83
Päällystetty	78.7	0.17	81.1	0.17	14.2	0.27	13.3	0.37	26	2.44	12.9	0.55
Soft	77	0.23	79.4	0.19	25.8	1.11	20.7	0.93	22	1.94	8.8	0.31
	77	0.19	79.1	0.3	28.4	1.32	22.5	2.54	24	1.68	12.2	0.4
	75.8	0.32	78.7	0.48	28.1	1.27	22.4	0.82	21	1.81	9.8	0.51
	77.3	0.14	79.8	0.28	30.8	2.64	23.4	0.86	20	1.4	9.2	0.25
	77.9	0.21	80.4	0.05	29.6	1.1	22.9	0.76	22	1.83	9.3	0.61
	77.7	0.12	80.2	0.18	34	1.4	25.3	0.82	21	1.57	8.2	0.69
Pohja 9079												
Pohja 9079	74	0.5	75.7	0.39	6.4	0.24	4.9	0.32	27	27.7	40.4	1.02
Kalanteroituu												
Päällystetty	78.1	0.22	80.5	0.19	12.2	0.2	11.3	0.22	25	2.33		
Soft	77	0.25	79.3	0.24	27.2	0.81	21.3	0.43	24	1.74	13.3	0.58
	76.7	0.27	79	0.26	29.3	0.95	21.4	0.48	24	1.75	13.3	0.44
	77.4	0.23	80	0.17	25.3	1	20	0.59	24	1.77	12.1	0.4
	77.2	0.26	79.7	0.23	28.5	1.13	21.5	0.6	24	1.75	11.5	0.56

Mittausten lkm	Formaatio, g/m ²		Huokoisuus, s	
	K.arvo	L.väli	K.arvo	Hajonta
	5		5	
Pasta 1				
Pohja 4	8.8	0.2	67.4	6.7
Päällystetty Soft				
Pohja 9	8.7	0.2	81	7
Päällystetty Soft				
Pasta 2				
Pohja 2	9	0.3	60.6	4.1
Päällystetty Soft				
Pohja 10	9.5	0.5	98	15.7
Päällystetty Soft				
Pohja 18	8.7	0.4	78	6.5
Päällystetty Soft				
Pohja 9078 Kalanteroituu Päällystetty Soft	8.7	0.3	65.7	11.1
Pohja 9079 Kalanteroituu Päällystetty Soft	8.8	0.2	73.5	3.4

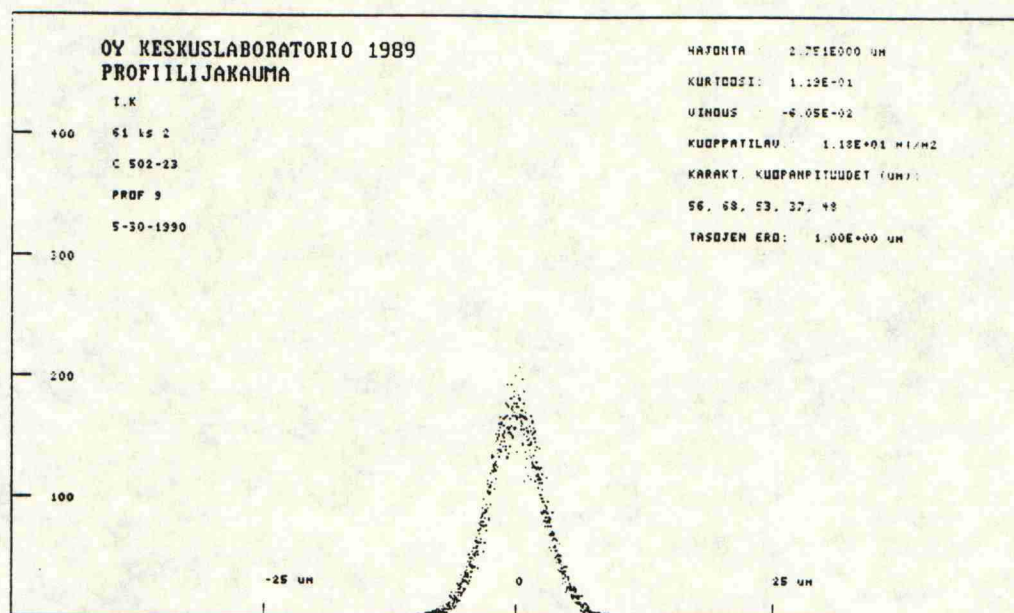
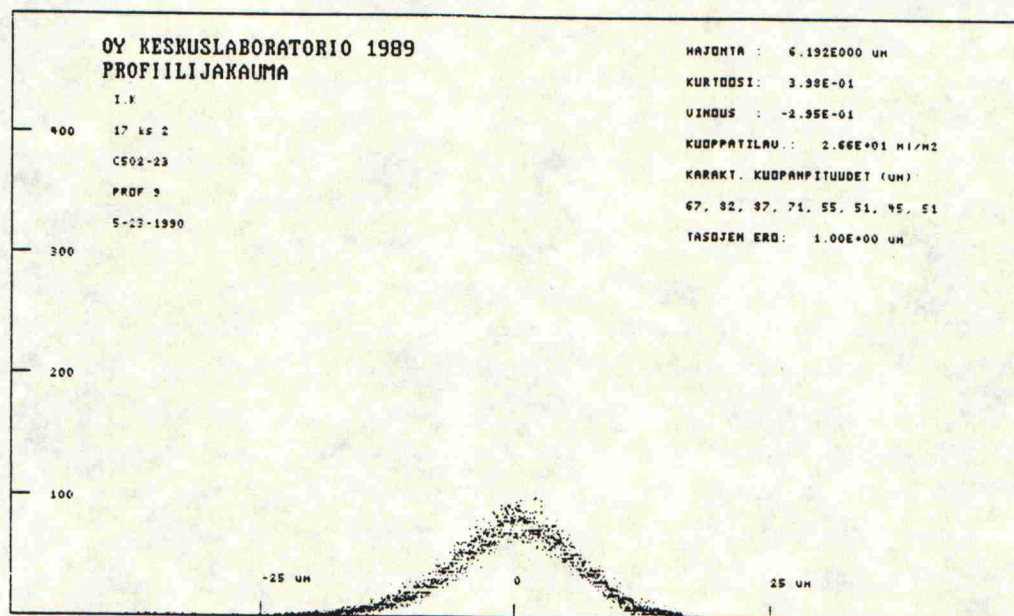
Mittausten lkm	Päällmäärä g/m ² tav.	Viivapaine kN/m	Neliömassa g/m ² 5	Hajonta	Tuhka %	Päällmäärä g/m ²	Paksuus um 20	Hajonta	Tiheys kg/m ³	Bendtsen mi/min 20
Pasta 3										
Pohja 3			150	0.63	3.95		185	1.7	811	391
Päällystetty	18		167	0.54	17.19	21.4	191	2.1	874	127
Soft	10	100	160	0.2	10.9	11.2	182	1.1	879	110
	10	150	159	0.7	10.7	10.9	179	2	888	125
	15	100	164	0.4	13.15	14.9	184	1.9	891	92
	15	150	164	0.5	14.77	17.5	181	1.9	906	90
	18	100	168	0.2	15.38	18.5	186	1	903	78
	18	150	168	0.1	15.96	19.4	181	1.9	928	84
Pohja 11			149	0.24	3.6		180	3.1	828	392
Päällystetty	18		166	1.71	14.06	16.9	187	2.6	888	108
Soft	10	100	159	0.61	10.61	11.3	174	1.1	914	107
	10	150	159	0.41	10.58	11.3	172	1.7	924	98
	15	100	164	0.19	13.97	16.8	178	1.5	921	84
	15	150	167	0.47	14.72	18.0	176	1.5	949	69
	18	100	167	0.3	15.42	19.1	182	1.4	918	68
	18	150	167	0.36	15.69	19.5	179	2.1	933	75
Pohja 19			149	0.25	3.62		184	1.5	810	609
Päällystetty	18		167	0.36	16.55	20.9	190	2.3	879	185
Soft	10	100	160	0.43	10.41	11.0	178	2.5	899	160
	10	150	159	0.53	10.2	10.6	175	1.8	909	140
	15	100	164	0.27	12.91	15.0	178	2.2	921	129
	15	150	164	0.18	13.84	16.5	176	1.4	932	110
	18	100	166	0.52	14.37	17.4	184	2.5	902	116
	18	150	166	0.98	14.9	18.2	179	1.5	927	110
Pohja 9081			150	0.38	3.35		212	2	708	1105
Kalanteroituu		0	149	1.4			196	2	760	866
Päällystetty	18		168	0.41	15.39	19.5	203	2.2	823	317
Soft	10	100	160	0.4	10.85	12.1	185	2	865	221
	10	150	160	0.36	10.87	12.1	180	2.6	889	188
	15	100	163	0.28	13.2	15.9	182	3.1	896	159
	15	150	165	0.3	13.3	16.1	180	2.7	917	122
	18	100	168	0.43	16.32	21.0	187	2.3	898	129
	18	150	167	0.4	16.48	21.2	180	2.4	922	109

	Hajonta	PPS 10	Hajonta	Kok.pur.	Mullen	Hajonta	RCT	Hajonta	Palstauma	Hajonta	Kitkakulma	IGT-suom
		um		um	kPa		kN/m		J/m2		o	m/s
		20		20	20		10		20		2	2
Pasta 3												
Pohja 3	37	7.34	0.18	1.1	778	36	1.85	0.06	223	15	22	2.1
Päällystetty	27	4.75	0.14	1.05	745	59	2.06	0.09	227	13	25	0.5
Soft	20	3.92	0.17	1.11	770	41	1.91	0.07	277	20	23.3	0.6
	18	3.82	0.13	1.11	755	48	1.86	0.07	266	28	22.8	0.6
	26	3.63	0.13	0.99	785	32	1.92	0.08	277	30	24	0.6
	23	3.43	0.14	0.93	758	41	1.91	0.06	315	21	22.8	0.55
	18	3.49	0.16	0.82	777	38	1.97	0.07	296	27	24.5	0.65
	29	3.32	0.14	0.84	766	44	1.91	0.08	300	32	24.8	0.6
Pohja 11	46	7.52	0.15	0.96	840	57	1.85	0.06	215	13	23.3	2.14
Päällystetty	38	5.08	0.25	1.06	833	61	2.08	0.1	218	16	26	0.75
Soft	23	3.91	0.15	1.06	835	59	1.93	0.12	221	14	22.5	0.55
	24	3.63	0.13	1.06	826	64	1.9	0.08	208	10	24.5	0.55
	21	3.67	0.15	0.85	833	73	2.02	0.09	209	47	18.3	0.55
	20	3.47	0.19	0.78	809	52	2.03	0.11	210	12	24.3	0.55
	13	3.94	0.17	0.84	823	61	2.07	0.11	200	12	23	0.6
	24	3.69	0.17	0.79	828	55	2.07	0.14	204	14	24.8	0.55
Pohja 19	106	8	0.18	0.91	732	38	1.53	0.1	216	10	22.5	2.16
Päällystetty	30	6.02	0.32	1.47	741	33	1.75	0.07	235	11	28	0.6
Soft	30	4.5	0.14	1.34	700	43	1.69	0.09	225	13	22.5	0.45
	29	4.18	0.18	1.33	720	38	1.94	0.09	233	17	24.5	0.45
	18	4.47	0.2	1.13	739	32	1.83	0.06	225	20	22	0.5
	31	4.1	1.23	1.17	732	63	1.81	0.08	298	41	23.4	0.7
	17	4.47	0.21	1.08	716	51	1.8	0.1	267	15	22.3	0.5
	19	4.24	0.22	1.11	715	57	1.81	0.11	225	15	20.3	0.5
Pohja 9081	112	8.61	0.1	0.49	797	30	1.94	0.07	258	15	21	2.2
Kalanteroituu	112	8.41	0.09	0.66	783	54	1.76	0.12	351	39	21	2.85
Päällystetty	69	6.9	0.22	1.8	799	33	2.1	0.07	284	26	25.5	0.65
Soft	50	4.87	0.2	1.37	808	44	2.1	0.08	256	16	22	0.6
	55	4.24	0.2	1.34	797	40	2.08	0.08	267	23	23.5	0.55
	45	4.49	0.09	1.21	799	35	2.04	0.07	250	19	23	0.55
	30	4.09	0.11	1.19	812	45	1.96	0.07	345	49	23.8	0.7
	16	4.54	0.13	1.14	787	53	2.15	0.07	263	23	22.5	0.5
	25	4.12	0.15	1.15	789	46	2.07	0.07	252	16	26	0.45

	Vaaleus ISO %	Hajonta	Y-arvo %	Hajonta	Kiilto ks %	Hajonta	Kiilto ps %	Hajonta	Cobb 60 g/m ²	CobbÜnger g/m ²	K&N %	Hajonta
	10		10		20		20		2	2	8	
Pasta 3												
Pohja 3	72.7	0.3	74.8	0.28	6.8	0.38	5.5	0.22	21	24.5	38.5	0.54
Päällystetty	78.9	0.15	81.1	0.08	12.5	0.31	11.8	0.39	25	2.85	19.2	1.21
Soft	77.5	0.21	79.4	0.12	20.9	0.91	17.2	0.73	25	2.28	12.2	0.78
	77.5	0.31	79.5	0.28	23.6	0.7	18.8	0.45	27	2.01	13.8	0.6
	78.1	0.26	80.1	0.2	24.8	0.95	19.5	0.71	27	2.39	15.5	0.89
	78.1	0.11	80.2	0.21	28.5	1.54	21.4	0.73	23	2.23	15.7	0.94
	78.4	0.11	81.3	0.18	26.7	1.18	21	0.43	25	2.05	11.7	0.48
	78.2	0.16	80.3	0.2	30.3	1.02	22.5	0.63	22	2.06	12.2	0.72
Pohja 11	73.3	0.66	74.9	0.48	7.2	0.4	6.1	0.28	21	17.1	34.6	0.95
Päällystetty	79.7	0.33	81.3	0.27	12.4	0.39	12.6	0.33	23	3.14	21.1	0.91
Soft	77.3	0.19	79.2	0.28	24.1	0.78	20.7	0.79	23	1.94	14.9	0.28
	77.1	0.27	78.9	0.18	28	1.46	22.7	0.63	22	1.74	14.7	0.39
	78.1	0.31	80.1	0.25	26.1	1.35	21.8	0.9	22	2.3	15.2	0.31
	78.4	0.21	80.4	0.24	28.2	1.56	22.8	0.97	21	2.19	15	0.43
	78.9	0.24	80.9	0.28	25.9	1.86	21.4	0.8	22	2.2	14.1	0.29
	78.8	0.25	80.8	0.18	27.9	1.3	22.4	0.93	21	2.13	14	0.66
Pohja 19	74	0.39	75.2	0.39	7	0.34	5.5	0.22	27	26	41.3	0.78
Päällystetty	79.5	0.26	81.5	0.2	12.5	0.35	11.5	0.31	29	3.15	19.8	1.33
Soft	77.4	0.19	79.3	0.27	25.7	1.32	19.1	0.75	26	2.42	16.1	0.74
	77.1	0.43	79.1	0.39	29.3	2.14	21.1	0.61	26	2.02	15.8	0.58
	78.3	0.24	80.3	0.26	26.3	1.25	19.5	0.62	28	2.45	15.9	0.67
	78.2	0.22	80.1	0.29	29.2	1.5	20.8	0.44	25	2.05	15.5	0.58
	79	0.12	81.1	0.29	24.9	1.39	19.2	0.8	26	2.52	15.3	0.52
	78.7	0.18	80.7	0.22	27.2	3.01	21	0.74	25	2.27	13.6	0.69
Pohja 9081	73.8	0.42	75.5	0.4	6.3	0.28	4.7	0.15	29	32.3	43	0.5
Kalanteroitu	73.7	0.56	75.8	0.44	7.3	0.29	5.5	0.31	44	28.1	46.4	0.79
Päällystetty	79.3	0.25	81.1	0.47	12.2	0.37	11.2	0.32	26	3.01	19.8	1.22
Soft	77.7	0.17	79.5	0.37	24.9	1.33	18.9	0.55	27	2.49	16	2.2
	77.5	0.22	79.4	0.22	28.6	1.44	21.1	0.86	28	2.26	14	0.49
	78.4	0.17	80.2	0.3	27.1	1.29	20.9	0.74	26	2.35	16.4	0.56
	78.2	0.14	80.2	0.21	30	1.23	22.4	0.71	27	1.94	16.5	0.67
	78.9	0.16	80.7	0.24	25.3	1.11	20.1	0.64	25	2.96	14.4	0.88
	78.7	0.14	80.6	0.16	30.6	1.05	22.7	0.44	25	2.6	14.5	1.09

	Formaatio, g/m ²		Huokoisuus, s	
	K.arvo	L.väli	K.arvo	Hajonta
	5		5	
Pasta 3				
Pohja 3	8.9	0.3	72.7	8.8
Päällystetty				
Soft				
Pohja 11	9.2	0.4	95.9	8.3
Päällystetty				
Soft				
Pohja 19	8.8	0.5	74.6	12.3
Päällystetty				
Soft				
Pohja 9081	8.5	0.7	73	4.1
Kalanteroitu				
Päällystetty				
Soft				

Pohjakartongin ja päällystetyn kartongin epätasaisuusjakaumat.



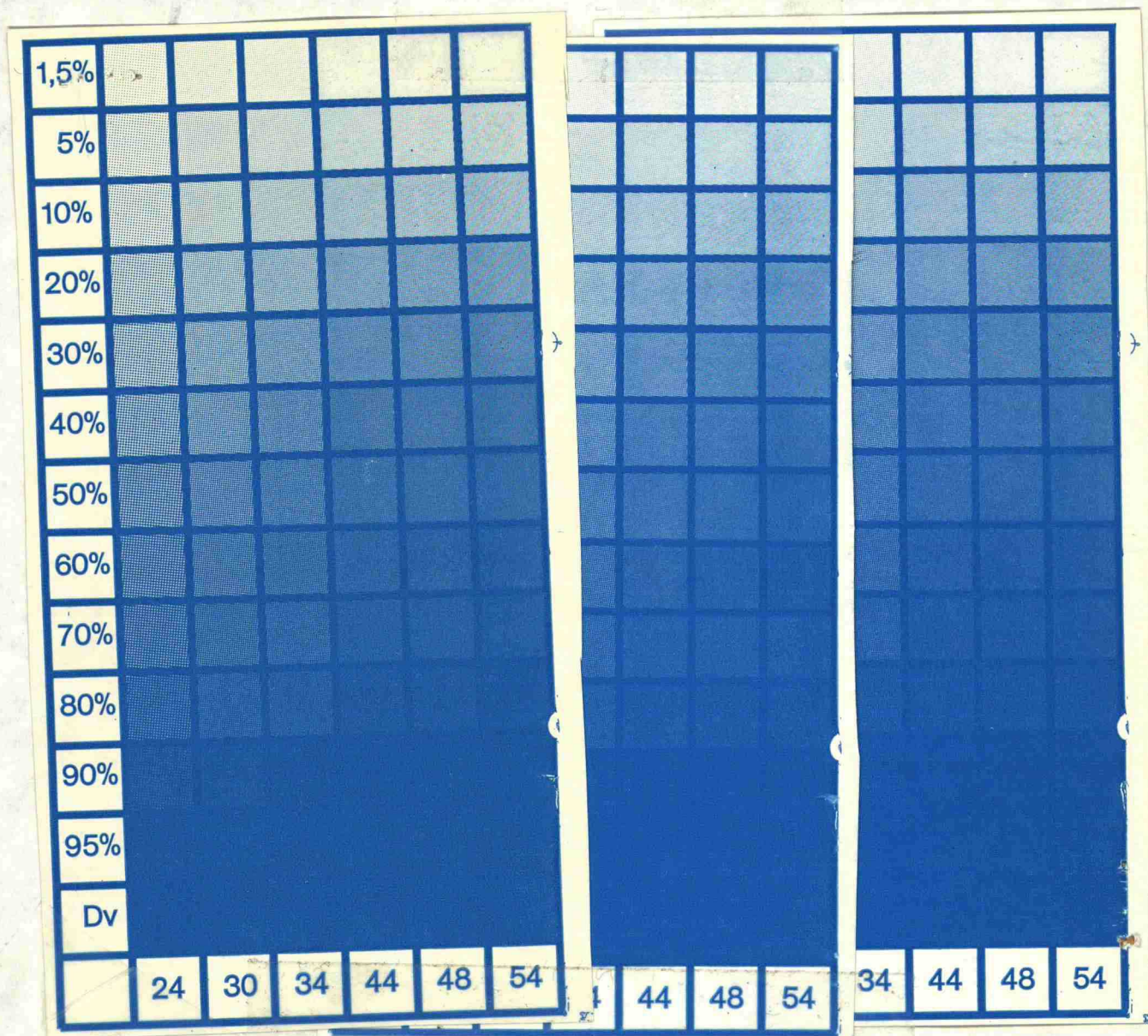
Päällystyskoeajan painatustulokset.

Pohjakartonki		Sileä, absorboiva				Sileä			
		2		3		1		2	
Pasta		85		67		91		79	
Koepiste									
						</			

Ivohjakartoonki		Silleä, absorbtioiva		Silleä		3.	
Pasta	1	2	3	1	2	3.	
Koepiste	97	85	67	91	79	61	
44 1/cm							
D 100	1.17	1.24	1.22	1.17	1.21	1.25	0.008 100.0
D 90	1.18	1.22	1.19	1.16	1.18	1.23	0.022 99.7
D 80	1.12	1.13	1.1	1.09	1.09	1.12	0.03 97.9
D 70	1.04	1.03	0.99	0.98	0.98	1.01	0.055 95.6
D 60	0.96	0.95	0.91	0.88	0.89	0.95	0.069 94.1
D 50	0.82	0.81	0.76	0.77	0.77	0.81	0.076 89.5
D 40	0.73	0.71	0.67	0.68	0.68	0.7	0.068 84.8
D 30	0.57	0.55	0.53	0.52	0.52	0.56	0.066 76.8
D 20	0.43	0.4	0.38	0.38	0.39	0.41	0.048 64.7
D 10	0.26	0.25	0.25	0.24	0.25	0.26	0.023 47.7
Suht.k.	0.11	0.17	0.19	0.15	0.19	0.19	
P.kasvu 4	47.28	45.42	43.66	44.84	44.31	44.82	
54 1/cm							
D 100	1.16	1.23	1.22	1.16	1.21	1.26	0.004 100.0
D 90	1.17	1.23	1.19	1.15	1.18	1.22	0.009 99.4
D 80	1.15	1.14	1.12	1.14	1.11	1.15	0.029 98.3
D 70	1.1	1.07	1.04	1.06	1.03	1.03	0.041 95.9
D 60	1.04	1.01	0.98	0.96	0.93	0.96	0.04 94.2
D 50	0.93	0.85	0.83	0.89	0.87	0.84	0.069 90.5
D 40	0.78	0.73	0.71	0.79	0.79	0.72	0.04 85.7
D 30	0.64	0.56	0.54	0.57	0.55	0.56	0.043 76.7
D 20	0.48	0.42	0.42	0.46	0.44	0.41	0.026 64.6
D 10	0.3	0.26	0.25	0.26	0.25	0.26	0.022 47.7
Suht.k.	0.05	0.13	0.15	0.09	0.15	0.18	
P.kasvu 4	49.6	46.47	45.66	50.01	49.29	45.65	
Motting							
20 % 1.8	4.57	5.74	4.58	5.34	4.55	5.74	
5.4	1.5	1.59	1.39	1.42	1.38	1.63	
50 % 1.8	9.54	10.37	9.46	9.26	9.1	11.42	
5.4	2.32	2.84	2.95	2.46	2.78	3.76	
70 % 1.8	9.73	8.85	13.26	10.56	11.1	14.3	
5.4	3.3	3.64	5.45	3.76	4.17	6.22	
100 % 1.8	14.73	8.18	8.41	17.58	15.93	11.24	
5.4	3.41	2.77	2.53	4.99	5.76	3.95	

Pohjakartonki	Karhea, absorboiva						Soft-sileä			Erittäin karhea		
Pasta	2			3			2			3		
Koepiste	73			45			51			39		
24 l/cm	D	Hajonta	Sävtöisto	D	Hajonta	Sävtöisto	D	Hajonta	Sävtöisto	D	Hajonta	Sävtöis
D 100	1.22	0.022	100.0	1.22	0.027	100.0	1.21	0.021	100.0	1.23	0.025	100.0
D 90	1.1	0.015	98.0	1.11	0.038	98.2	1.1	0.027	98.1	1.11	0.04	98.0
D 80	0.92	0.019	93.6	0.93	0.055	93.9	0.91	0.04	93.5	0.91	0.038	93.2
D 70	0.75	0.021	87.5	0.77	0.055	88.3	0.75	0.047	87.6	0.76	0.049	87.8
D 60	0.65	0.019	82.6	0.67	0.046	83.7	0.65	0.043	82.7	0.64	0.044	81.9
D 50	0.55	0.021	76.4	0.56	0.045	77.1	0.54	0.045	75.8	0.54	0.05	75.6
D 40	0.42	0.016	66.0	0.44	0.046	67.8	0.41	0.039	65.1	0.43	0.051	66.8
D 30	0.34	0.011	57.8	0.34	0.034	57.8	0.33	0.035	56.7	0.33	0.032	56.6
D 20	0.23	0.011	43.8	0.25	0.027	46.6	0.23	0.016	43.8	0.24	0.026	45.1
D 10	0.15	0.005	31.1	0.17	0.011	34.5	0.16	0.013	32.8	0.16	0.012	32.7
Suht.k.	0.39			0.37			0.38			0.38		
P.kasvu 4	25.69			27.78			25.11			26.78		
P.kiilto	44.15	1.6		43.36	1.44		49.13	0.6		46.6	1.31	
34 l/cm	D	Hajonta	Sävtöisto	D	Hajonta	Sävtöisto	D	Hajonta	Sävtöisto	D	Hajonta	Sävtöis
D 100	1.22	0.013	100.0	1.22	0.029	100.0	1.22	0.021	100.0	1.21	0.036	100.0
D 90	1.18	0.016	99.4	1.17	0.03	99.2	1.16	0.012	99.1	1.16	0.025	99.2
D 80	1.03	0.021	96.5	1.03	0.054	96.5	1.03	0.055	96.5	1.03	0.039	96.6
D 70	0.9	0.023	93.0	0.89	0.044	92.7	0.91	0.082	93.3	0.88	0.049	92.5
D 60	0.82	0.03	90.3	0.79	0.042	89.2	0.82	0.086	90.3	0.77	0.074	88.5
D 50	0.67	0.025	83.7	0.67	0.053	83.7	0.7	0.103	85.2	0.68	0.066	84.3
D 40	0.57	0.027	77.8	0.57	0.048	77.8	0.58	0.089	78.4	0.57	0.059	77.9
D 30	0.44	0.013	67.8	0.44	0.045	67.8	0.45	0.074	68.7	0.44	0.064	67.9
D 20	0.32	0.017	55.5	0.33	0.029	56.6	0.34	0.053	57.8	0.31	0.031	54.4
D 10	0.2	0.009	39.3	0.22	0.013	42.3	0.22	0.034	42.3	0.2	0.017	39.3
Suht.k.	0.26			0.27			0.25			0.27		
P.kasvu 4	37.77			37.77			38.42			37.89		
44 l/cm	D	Hajonta	Sävtöisto	D	Hajonta	Sävtöisto	D	Hajonta	Sävtöisto	D	Hajonta	Sävtöis
D 100	1.22	0.024	100.0	1.22	0.023	100.0	1.22	0.017	100.0	1.22	0.022	100.0
D 90	1.2	0.023	99.7	1.2	0.019	99.7	1.18	0.032	99.4	1.19	0.028	99.5
D 80	1.1	0.025	98.0	0.99	0.035	95.5	1.08	0.026	97.6	1.08	0.033	97.6
D 70	1	0.028	95.8	0.99	0.038	95.5	1	0.063	95.8	0.99	0.066	95.5
D 60	0.93	0.023	93.9	0.9	0.026	93.0	0.93	0.091	93.9	0.88	0.064	92.4
D 50	0.78	0.041	88.8	0.76	0.043	87.9	0.79	0.086	89.2	0.76	0.068	87.9
D 40	0.67	0.03	83.7	0.67	0.047	83.7	0.7	0.096	85.2	0.66	0.066	83.1
D 30	0.53	0.037	75.0	0.52	0.041	74.3	0.54	0.07	75.7	0.5	0.036	72.8
D 20	0.39	0.036	63.1	0.39	0.031	63.1	0.41	0.068	65.0	0.38	0.038	62.1
D 10	0.25	0.015	46.6	0.26	0.019	47.9	0.26	0.038	47.9	0.24	0.023	45.2
Suht.k.	0.18			0.19			0.18			0.19		
P.kasvu 4	43.66			43.66			45.18			43.13		
54 l/cm	D	Hajonta	Sävtöisto	D	Hajonta	Sävtöisto	D	Hajonta	Sävtöisto	D	Hajonta	Sävtöis
D 100	1.22	0.013	100.0	1.21	0.025	100.0	1.21	0.025	100.0	1.22	0.02	100.0
D 90	1.19	0.02	99.5	1.2	0.016	99.8	1.19	0.027	99.7	1.19	0.018	99.5
D 80	1.13	0.026	98.5	1.12	0.013	98.5	1.12	0.015	98.5	1.12	0.023	98.3
D 70	1.03	0.055	96.5	1.05	0.04	97.1	1.06	0.038	97.3	1.05	0.057	96.9
D 60	0.95	0.082	94.5	0.97	0.065	95.2	1.01	0.086	96.2	0.93	0.067	93.9
D 50	0.82	0.076	90.3	0.85	0.069	91.5	0.91	0.125	93.5	0.81	0.038	89.9
D 40	0.7	0.066	85.2	0.76	0.061	88.1	0.76	0.117	88.1	0.69	0.049	84.7
D 30	0.55	0.047	76.4	0.56	0.061	77.2	0.59	0.079	79.2	0.54	0.049	75.7
D 20	0.44	0.044	67.8	0.44	0.052	67.9	0.44	0.064	67.9	0.41	0.04	65.0
D 10	0.26	0.025	47.9	0.27	0.032	49.3	0.28	0.034	50.6	0.26	0.024	47.9
Suht.k.	0.16			0.13			0.12			0.14		
P.kasvu 4	45.18			48.05			48.05			44.69		
Mottling												
20 % 1.8	4.85			5.83			4.65			5.79		
5.4	1.27			1.56			1.46			1.81		
50 % 1.8	11.66			12.1			10.81			12.01		
5.4	2.78			3.58			3.16			4		
70 % 1.8	14.93			14.15			9.97			12.38		
5.4	4.97			5.01			3.88			5.42		
100 % 1.8	17.94			12.07			13.91			13.3		
5.4	4.17			2.84			3.7			3.64		

Päällystyskoeajon painatusnäytteitä. Päällystetty sileää pohjakartonkia.



1. 100 osaa kaoliinia 2. 75 osaa kaoliinia 3. 50 osaa kaol.
25 osaa kalsiumk. 50 osaa kals.

t-jakauman q-pisteitä $t_q(v)$. $P(T(v) \leq t_q(v)) = q / 124/$.

$\begin{array}{c} q \\ \backslash \\ v \end{array}$	0.95	0.975	0.99	0.995	0.9995
1	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941
4	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
6	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
8	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
22	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767
24	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
26	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
28	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
40	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
120	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
∞	1.645	1.960	2.320	2.576	3.291

LUKUSÄIKÄPÄRE

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Puunjalostustekniikan laitos
Kirjasto